

文章编号:1672-3317(2019)03-0076-07

不同淋洗条件下黄河三角洲盐渍土脱盐规律研究

尹春艳^{1,2}, 陈小兵^{1*}, 刘虎³, 秦松¹, 孙海栓⁴, 张立宾⁵

(1. 中国科学院海岸带研究所, 山东烟台 264003; 2. 内蒙古自治区农牧业科学院, 呼和浩特 010010;
3. 水利部牧区水利科学研究所, 呼和浩特 010010; 4. 山东汇邦渤海农业开发有限公司,
山东东营 257091; 5. 东营市科技情报研究所, 山东东营 257091)

摘要:【目的】探索黄河三角洲地区盐渍土在不同淋洗条件下土壤脱盐规律。【方法】通过室内土柱淋洗脱盐模拟试验, 设置2种淋洗方式(连续淋洗和间歇淋洗), 分析了在连续淋洗和间歇淋洗条件下土壤淋洗耗水量、淋洗滤液的矿化度随时间、滤液累积量的变化规律和滤液的脱盐速率, 同时分析了0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm土层的电导率、SAR(钠吸附比)的变化过程。【结果】①不同淋洗方式条件下, 土体脱盐共有3个过程, 分别为盐分峰值初步形成过程、盐分峰值向下移动过程和土柱底层土体盐分峰值消失过程; 连续淋洗和间歇淋洗土柱为达到一般农作物(计划湿润层为0~60 cm)生长所需淋洗水量为472.70 mm和411.60 mm, 间歇淋洗较连续淋洗省水14.8%。②连续淋洗和间歇淋洗滤液矿化度随时间均表现为幂函数关系; 连续淋洗和间歇淋洗的滤液脱盐效率分别为18.45 g/L²和28.49 g/L², 连续淋洗的滤液脱盐效率为间歇淋洗的64.7%。③连续淋洗土柱和间歇淋洗土柱淋洗后含盐量是淋洗脱盐前的11.89%和8.39%(以40~60 cm土层为例), 间歇淋洗土柱中各层pH值增量均小于在连续淋洗土柱中pH值的增量, 并且在间歇淋洗后各层土壤pH值虽有增加, 但是还在一般植物生长的允许范围内; 间歇淋洗土柱中SAR减小量大于连续淋洗土柱中SAR的减小量, RSC增量小于连续淋洗土柱中RSC的增量, SAR和RSC均在一般植物生长的允许范围内。【结论】盐渍土经过淋洗脱盐可以达到植物生长的要求, 同时, 间歇淋洗明显比连续淋洗节约水, 在生产实践中采用间歇淋洗土壤脱盐效果更好。

关键词:盐渍土; 土柱模拟; 间歇淋洗; 矿化度; 脱盐效率

中图分类号:S273

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.20180101

尹春艳, 陈小兵, 刘虎, 等. 不同淋洗条件下黄河三角洲盐渍土脱盐规律研究[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(3): 76-82.

0 引言

黄河三角洲地区在成陆过程中, 不断受到黄河改道、海水侵袭浸润等多种因素影响, 滨海盐渍土成为主要土壤类型之一^[1]。同时盐渍土是黄河三角洲地区主要后备土地资源, 开发利用盐渍土的重要性日益凸显。改良盐渍地主要是通过灌溉淋洗将土壤中的盐分排出和控制地下水埋深防止蒸发返盐产生次生盐碱化。不合理的灌溉方式^[2-3]和灌溉水质^[4](高盐水, 污染的海水)都会促使土壤盐分增加, 产生次生盐碱化。土壤盐渍化导致的土壤退化是影响农业可持续生产的主要因子^[5-6]。在我国关于灌水洗盐的研究很多, 采用室内模拟淋洗试验是精确分析盐渍土水盐动态运移规律的主要手段之一。通过设置不同边界条件和初始条件对土壤水盐运移进行了非饱和水一维垂向移动、蒸发条件下盐分富集、淋洗条件下盐分离子迁移、水盐移动数值模拟等不同角度的探讨。在灌水淋洗脱盐过程中, 盐分主要是随着水分下渗而被排出土体的, 淋洗入渗水头越大, 湿润锋下移速度越快, 向下冲洗效果深, 进而冲洗效果越好^[7]; 淋洗水头的变化也明显改变了不同土层盐分变化速率^[7-8]和不同灌水、灌溉定额^[9-10]。总体而言, 一直以来盐渍土的淋洗改良多为常水头连续淋洗, 而在淋洗灌溉方式上鲜有研究, 并且在土壤含盐量极高(含盐量远大于3.0 g/100 g土)的黄河三角洲

收稿日期:2018-02-07

基金项目: 东营市重点研发计划项目(2016YF17); 山东省重点研发计划项目(2017CXGC0316); 国家重点研发计划课题(2016YFD02003003); 内蒙古农牧业创新基金项目(CXJJ2017NO10); 国家重点研发计划项目(2017YFD0201505-4)

作者简介: 尹春艳(1983-), 硕士, 主要从事土壤盐渍化与改良技术方面的研究。E-mail: ycyLiuhu@163.com

通信作者: 陈小兵(1974-), 副研究员, 硕士生导师, 博士, 主要从事为海岸带水土资源整治与保护技术研究。

地区滨海盐土较为极端的土壤类型下,开展不同淋洗灌溉方式对土壤水盐运移规律的研究更为少见。为了更好地开发利用黄河三角洲盐渍土资源,分析和探讨不同淋洗条件下土壤水盐运移的特征和动态规律,以期为该地区盐渍土合理的淋洗脱盐模式提供一定技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土样取自垦利县中国科学院烟台海岸带研究所试验站,取土区域内无植被覆盖,且未扰动。在0~100 cm分层取土,每20 m为1层,采用环刀法分别测各层土壤体积质量;土样经烘干过2 mm筛后,分层填装土柱,按每层实测土壤体积质量填装土柱,层间打毛,再填装下一层。土壤粒径组成使用中科院海岸带研究所测试分析中心的MarLvern Mastersizer2000F型激光粒度仪进行测定,全盐量采用质量法测量,电导率采用电导率仪测定,pH采用pH计法测定,土壤质地分类的依据为美国制分类标准。供试土壤理化性质和颗粒分析结果见表1。

表1 土壤理化性质和颗粒分析

土层深度/cm	土壤粒级分数/%			土壤质地	全盐量/%	电导率/(mS·cm ⁻¹)	pH值	土壤体积质量/(g·cm ⁻³)
	黏粒	粉粒	砂粒					
0~20	9.38	68.59	22.03	粉壤土	3.90	8.72	7.12	1.57
20~40	4.88	77.81	17.31	粉壤土	1.47	3.67	7.31	1.42
40~60	3.26	72.88	23.86	粉壤土	1.43	3.64	7.47	1.33
60~80	3.73	77.48	18.79	粉壤土	1.28	3.74	7.53	1.43
80~100	6.82	85.43	7.75	粉土	1.19	3.5	7.58	1.55

1.2 试验方法

试验于2016年6—7月进行,采用室内土柱模拟淋洗的方法,土柱为有机玻璃的圆柱,高120 cm,土柱放置于三角支架上,土柱底部开孔,下端用三角烧瓶收集土柱淋洗试验的排出液。将扰动土按每层20 cm装入土柱。为了使紧实度均匀,每层分4次填装,每次填装5 cm,每层的装填体积质量按照研究区域现场环刀取样测得值装填压实,相邻层之间装填时首先将下层土壤表面打毛后再装填,为了防止在底部土壤堵塞柱子排水口,铺设10 cm厚度的石英砂作为反滤层,并且使用ECH2O土壤墒情监测系统监测土壤体积含水率,该系统由Em50数据采集器和5TE土壤水分温度电导率传感器组成。在距离土柱表面10、30、50、70、90 cm处埋设5TE传感器,5TE传感器可以同时测量土壤水分、温度和电导率,主要受土壤质地、体积质量、矿物质量和盐分等因素影响。试验装置如图1所示。



图1 试验装置

为了保证EM50数据采集器和5TE传感器所测定土壤体积含水率的精度,在实验室内对传感器进行校准。首先在试验区现场测定土壤体积质量,之后根据该值将野外取回的经过风干,过2 mm筛后土壤分层装入到500 mL烧杯中压紧,装填的土壤体积质量接近于试验点的土壤体积质量。5TE垂直插入到土壤中,且5TE传感器探头周围至少有5 cm半径的土壤,连接数据采集器,读取5TE传感器的数值 x 。用土样采集器采集土样,将土样放入铝盒中,密封保存。测量土样和铝盒的质量 m_1 (铝盒的质量为 m_0),将已称质量的土样和铝盒放入烘箱中在105 °C下烘24 h,测量烘干后土样和铝盒的质量 m_2 。再将土壤湿润,每10 mL土壤中加入0.5 mL蒸馏水,尽量将水均匀加入,充分混合土壤,直到土壤达到饱和状态,通常会产生4~6个校准点。体积含水率 θ 计算式为:

$$\theta = \frac{v_w}{v_s}, \quad (1)$$

$$v_w = \frac{m_w}{\rho_w}, \quad (2)$$

式中: v_w 为土壤中水的体积; v_s 为土的体积; m_w 为土壤水的质量($m_1 - m_2 - m_0$); ρ_w 为水的密度。采用回归分析拟

合质量法测得含水率和传感器所测数据,得到相应的校准方程。

根据文献[1-2],当土壤含盐量小于0.3%时,适合一般农作物的生长。土壤饱和溶液的矿化度为3 g/L时,约等于土壤含盐量为0.3%,因此,采用淋洗滤液矿化度小于3 g/L作为试验结束的标志。

采用间歇淋洗和连续淋洗2种方式。连续淋洗是保证5 cm蓄水水头连续供水,直到底部排除的滤液矿化度小于3 g/L时试验完成;间歇淋洗每次灌水量5 cm,待表层没有积水,间隔12 h后进行下次灌水,待滤液矿化度小于3 g/L,结束淋洗试验;试验中每隔4 h收集1次各土柱淋洗滤液,每种淋洗方式设置3次重复。试验结束后,拆开试验土柱,分层取土壤样品。

配制1:5土水质量比浸提液,测定土壤离子;采用pH计法测量土壤pH值;采用质量法测得土壤含盐量;采用电导率仪测定电导率;采用质量法测定滤出液的矿化度。采用脱盐速率 $v_{脱}$ 表示含盐土柱脱盐过程中单位时间的脱盐量,采用脱盐效率 $E_{脱}$ 表示达到脱盐过程中的单位水量的脱盐量^[7],其计算式为:

$$v_{脱} = (m_4 - m_3) / t, \quad (3)$$

$$E_{脱} = (m_4 - m_3) / w, \quad (4)$$

式中: m_4 为土柱初始滤液矿化度; m_3 为土柱初始滤液矿化度; t 为脱盐经历时间; w 为淋洗所用水量总量。

2 结果与分析

2.1 淋洗滤液的变化分析

1) 滤液矿化度随时间的变化分析。连续淋洗土柱经过52 h后开始有滤液流出,间歇淋洗土柱需要143 h。淋洗滤液的矿化度随淋洗时间的变化曲线及其拟合关系如图2所示。

由图2可知,连续淋洗土柱和间歇淋洗土柱在滤液随时间的变化过程中矿化度的减小速率都是由大到小变化的,间歇淋洗土柱完成试验需要的时间(314 h)远大于连续淋洗土柱的淋洗时间(149 h)。滤液矿化度和时间之间存在幂函数关系,且均呈递减趋势,说明2个土柱滤液矿化度变化速率是由快到慢变化的,这是因为试验开始时土壤含盐量较高,淋洗水溶解掉的盐分更多,随着水分入渗盐分被带走,土壤中的含盐量逐渐降低,淋洗水溶解掉的盐分也随着减少。且从试验中采集到的滤液矿化度可以看出,间歇淋洗处理有滤液流出时,其矿化度总是高于连续淋洗的,表明该处理下同样水量可以淋洗出更多的土壤可溶盐。

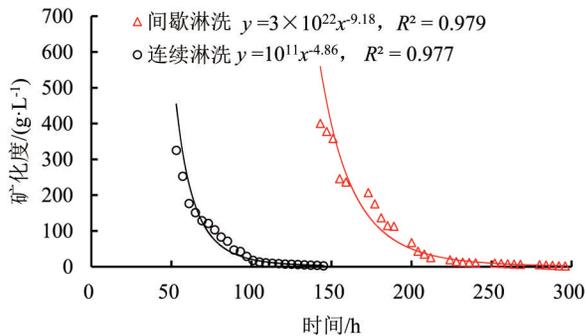


图2 滤液矿化度随时间变化曲线

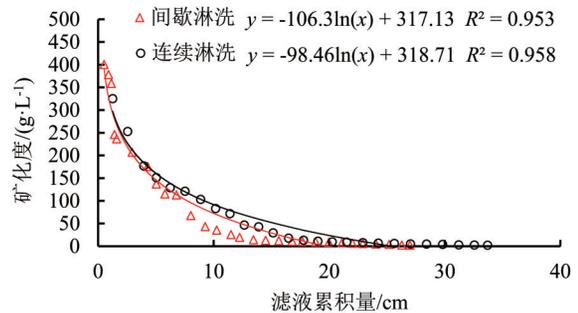


图3 滤液矿化度随滤液累积量的变化

2) 滤液矿化度随滤液累积量的变化分析。2个土柱滤出液矿化度和滤液累积量之间的关系见图3。由图3可知,总体而言,连续淋洗和间歇淋洗土柱的滤液矿化度和滤液累积量均呈对数函数关系。随着滤液量的增加,滤液矿化度逐渐减小;滤液累积量匀速增加,但是矿化度随滤液累积量并不是匀速减小;初始滤液矿化度急剧减小,随着滤液累积量增加,滤液矿化度减小速率变得迟缓。其中,当滤出液累积量小于12 cm时,间歇淋洗的淋出液矿化度比连续淋洗的高,且间歇淋洗初始矿化度远高于连续淋洗矿化度,同时连续淋洗矿化度的减小速率大于间歇淋洗的;滤液累积量在12~40 cm时,随着滤液量增加,连续淋洗滤液矿化度高于间歇淋洗矿化度,且连续淋洗的矿化度的减小速率大于间歇淋洗的;当滤液累积量超过40 cm后,间歇淋洗矿化度均低于连续淋洗。在滤液累积量小于40 cm时,间歇淋洗的溶解脱盐率高于连续淋洗的,大于40 cm时连续淋洗的高于间歇淋洗的,间歇淋洗滤液矿化度的减小速率大于连续淋洗的。在排出相同滤液量条件下,间歇淋洗排除的盐分更多,脱盐效率更高,从节水角度讲,间歇淋洗更经济。

3) 滤液的脱盐速率分析。柱子底部有滤液排出时开始计时,连续淋洗97 h,间歇淋洗171 h,滤液矿化度小于3 g/L结束试验。连续淋洗土柱和间歇淋洗土柱的脱盐速率等分析如表2所示,由表2可知,连续淋洗土

柱的脱盐速率是间歇淋洗土柱脱盐速率的1.42倍,另外,相同水量下间歇淋洗土柱的脱盐效率约为连续淋洗土柱的1.58倍。

表2 土柱淋洗试验滤液数据资料分析

项目	连续淋洗						间歇淋洗					
	滤液含盐量/(g·L ⁻¹)		历时/h	脱盐速率/(g·L ⁻¹ ·h ⁻¹)	耗水总量/L	脱盐效率/(g·L ⁻²)	滤液含盐量/(g·L ⁻¹)		历时/h	脱盐速率/(g·L ⁻¹ ·h ⁻¹)	耗水总量/L	脱盐效率/(g·L ⁻²)
	初始	结束					初始	结束				
平均值	325.12	2.87	97.00	3.32	17.47	18.45	400.32	2.28	171.00	2.33	13.97	28.49
标准误差	0	0.04	0.29	0.01	0.15	0.16	0	0.02	0.58	0.01	0.04	0.08
方差	0	0.01	0.25	0	0.06	0.07	0	0	1.00	0	0	0.02
最小值	325.12	2.79	96.50	3.30	17.20	18.20	400.32	2.24	170.00	2.31	13.89	28.39
最大值	325.12	2.94	97.50	3.34	17.70	18.74	400.32	2.31	172.00	2.34	14.02	28.66
变异系数	0	0.015	0.003	0.003	0.008	0.008	0	0.009	0.003	0.003	0.003	0.003

由表2可知,连续淋洗和间歇淋洗土柱结束时滤液含盐量平均值为2.87 g/L和2.28 g/L。试验资料中,各组数据的变异系数范围为0.000~0.015,表明淋洗试验中得到含盐量、经历时间、耗水总量的数据之间变异不显著。

2.2 土壤脱盐的变化分析

1)淋洗脱盐消耗总水量分析。2个土柱(连续淋洗、间歇淋洗)下方各收集到滤液34 cm和27 cm,不考虑蒸发因素的影响,认为2个土柱中存水量分别为53.4 cm和42.7 cm。如图4和表3所示,连续淋洗、间歇淋洗消耗掉的水量分别为87.4、69.7 cm。土柱用风干土装填,试验开始土壤处于风干状态,土壤含水率低,试验结束时,土壤处于饱和状态,土壤由风干状态至饱和状态,土壤会吸收大部分水,造成淋洗过程中有相当一部分水分滞留在土柱中,但是风干状态和饱和状态都是土壤含水率的极限状态,因此无论是在连续淋洗还是间歇淋洗条件下,淋洗脱盐需水量(即淋洗过程消耗掉的总水量)都不是一个固定的值,因此,在连续淋洗条件下,淋洗脱盐需水量为55.0~90.0 cm,在间歇淋洗条件下,淋洗脱盐需水量为30.0~70.0 cm。

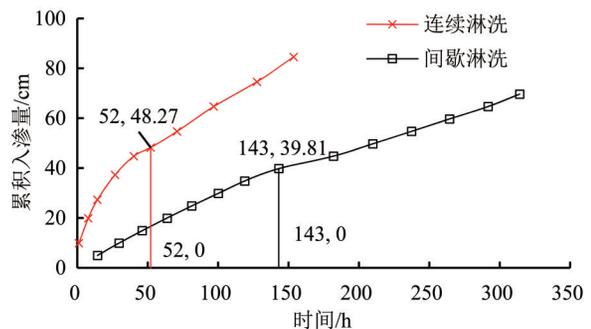


图4 不同淋洗条件下累积入渗量和时间的关系

表3 土柱不同土层脱盐所需时间及入渗水量

土层深度/cm	连续淋洗			间歇淋洗		
	电导率/(mS·cm ⁻¹)	累积时间/h	淋洗定额/mm	电导率/(mS·cm ⁻¹)	累积时间/h	淋洗定额/mm
0~20	0.62~5.51	15.50	28.27	0.62~5.51	14.50	3.66
20~40	0.63~3.91	45.50	34.12	0.63~3.91	108.00	26.16
40~60	0.64~4.92	51.50	47.27	0.64~4.92	184.00	41.16
60~80	0.68~20.5	119.50	67.92	0.68~20.5	216.00	46.16
80~100	0.69~23.1	149.00	87.47	0.69~23.1	314	69.76

试验中土柱消耗水的过程包括2个阶段,第一阶段是由风干状态到饱和状态。对连续淋洗而言,前52 h为第一阶段,52 h以后为第二阶段。第一阶段中土柱消耗水的速度较快,耗水总量为48.27 cm,其平均耗水速度为9.28 mm/h;第二阶段的耗水总量为39.2 cm,平均耗水速度为4.1 mm/h。间歇淋洗2个耗水阶段的时间分隔点在143 h处,其第一阶段耗水总量为39.81 cm,耗水速度为2.8 mm/h,第二阶段的耗水总量为29.89 cm,耗水速度为1.74 mm/h。

第一、二阶段连续淋洗土柱的耗水速度是间歇淋洗土柱的3.32倍和2.35倍,这是由于在第一阶段中,土柱都是完全风干的,入渗速度快,连续淋洗土柱能保持5 cm水头连续下渗,但是间歇淋洗在5 cm水头开始入渗,水头不断降低,且间隔12 h再次灌水,停止灌水时土柱的入渗水头始终小于5 cm。

由表3可知,连续淋洗只有第一层完全脱盐时间晚于间歇淋洗的,其余各层完全脱盐时间均早于间歇淋洗的,这和以往的研究结果^[20]是一致的。0~20 cm土层,间歇灌溉显著增加了排水中的平均盐分浓度。在连续淋洗和间歇淋洗条件下,达到一般农作物(计划湿润层为0~60 cm)生长所需淋洗水量为47.27 cm和41.16 cm,

间歇淋洗比连续淋洗节约用水 14.8%。但是从淋洗需水量看,间歇淋洗条件下,各层完全脱盐需水量远远小于连续淋洗需水量。因此,从节水角度分析,采取间歇淋洗更加经济实用。

2)各层土壤脱盐分析。在风干状态下,0~100 cm 土层,每 20 cm 为 1 层,自上而下测得分别为 0.04、0.04、0.04、0.02、0.03 mS/cm。在不同的淋洗条件下,随着水分自上而下逐渐下渗,土壤从上到下逐渐饱和,土柱中土壤达到完全饱和,在重力水的作用下产生渗漏,水分从底部排除,随着水分的排出,土壤中的盐分随着滤液的析出被带离土体,根据土柱中的盐分传感器测到的电导率变化规律(图 5),将试验过程中水盐动态划分为 3 个阶段。

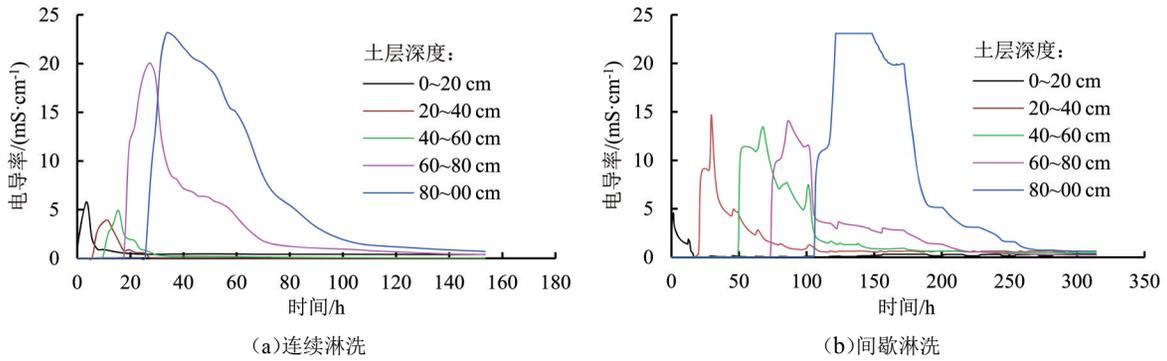


图 5 不同淋洗条件下电导率随时间的变化规律

①表层土壤盐峰形成阶段。水分入渗的最初阶段,入渗水溶解土柱中的盐分,表层盐分随着水分下渗逐渐下移,在表层传感器埋深剖面可以观察到形成一个盐峰。盐峰的形成标志着明显脱盐的开始,由于不同淋洗条件下土壤溶液电导率变化曲线可看出,在连续淋洗作用下 10 cm 深度土层在试验开始后的 3.5 h 达到最大值 5.81 mS/cm,形成第一个盐峰。在间歇淋洗作用下,10 cm 深度土层在试验开始后的 1 h 达到最大值 4.03 mS/cm,形成第一个盐峰。

②盐峰下移阶段。随着淋洗水向下入渗,上层土壤盐分也随着水分下移,在不同剖面形成盐峰,盐峰的形成顺序是自上向下逐层形成,见图 5。当土柱底部有滤液排出时(连续淋洗土柱和间歇淋洗土柱的滤液排出时间分别在 143 h 和 52 h),土柱中土壤水处于接近饱和状态。由于土柱表层中含有的盐分随着水分下移,下层土壤不仅有自身的盐分,还有水分入渗携带来的上层盐分,所以下层盐分先增加,达到一个峰值再减小,随着水分不断下渗盐分受到水分淋洗也逐渐下移,因此盐分逐渐聚集在底层,自上而下逐层脱盐。

③盐峰消失阶段。随着淋洗水达到一定数量滤液不断排出,上层的盐峰逐渐下移,上层土壤完全脱盐,底层土体中含盐量仍较高,这是由于上层土中盐分被淋洗,逐渐向下富集,下层土中盐分尚未排出土柱,该土层含盐量达到最大。间歇淋洗只有在第一层形成的盐峰时间早于连续淋洗盐峰的形成时间,大量灌溉时,水分从大孔隙中快速通过,并不能带走表层小孔隙中的盐分;而若采用间歇性灌溉的方式,小孔隙中的盐分在灌溉间歇期有较充足的时间扩散到大孔隙,在随着水分慢慢下渗被带走,从而提高表层淋洗效率。随着淋洗时间延长,连续淋洗水量充足,使下层土壤饱和时间早于间歇淋洗,下层明显脱盐时间早于间歇淋洗。

3)淋洗前后土壤指标分析

在不同淋洗条件下,土柱在淋洗前后土壤含盐量、*SAR*(钠吸附比)、*RSC*(残余碳酸钠量)和 *pH* 都发生了明显变化,无论是连续淋洗土柱还是间歇淋洗土柱脱盐的效果都是自表层下逐渐减弱,这和各层土壤动态电导率是一致的。从表 4 可以看出,连续淋洗土柱和间歇淋洗土柱淋洗后含盐量是淋洗脱盐前的 11.89% 和 8.39%(以 40~60 cm 土层为例),这说明在试验过程中淋洗脱盐效果明显,连续淋洗的脱盐效果好于间歇淋洗的脱盐效果。在淋洗过程中各个土层剖面的 *pH* 值均上升,因为淋洗过程中其他离子的量都在减少, CO_3^{2-} 量增加。间歇淋洗土柱中各层 *pH* 值增量均小于连续淋洗土柱中 *pH* 值的增量,且在间歇淋洗后各层土壤 *pH* 值仍满足大多数植物生长需求。在淋洗过程中 2 个土柱中各土层剖面的 *SAR* 均呈下降趋势,间歇淋洗土柱中 *SAR* 减小量大于连续淋洗土柱中 *SAR* 减小量,但是还在一般植物生长的允许范围内。在淋洗过程中 2 个土柱中各个土层剖面的 *RSC* 都有所上升,间歇淋洗土柱中 *RSC* 增量小于连续淋洗土柱中 *RSC* 增量,均在一般植物生长的允许范围内。

表4 不同灌水条件淋洗前后土壤含盐量、SAR、RSC及pH

淋洗方式	土层深度/cm	淋洗前				淋洗后				脱盐率/%
		SAR	RSC	含盐量/%	pH	SAR	RSC	含盐量/%	pH	
连续淋洗	0~20	7.29	-13.96	3.90	7.12	1.32	-1.06	0.05%	8.58	98.72
	20~40	7.22	-5.73	1.47	7.31	0.67	-0.24	0.06%	9.17	95.92
	40~60	7.11	-3.01	1.43	7.47	0.61	-0.17	0.17%	8.66	88.11
	60~80	7.08	-4.92	1.28	7.53	0.52	-0.09	0.21%	8.55	83.59
	80~100	7.04	-3.54	1.19	7.58	1.23	0.57	0.25%	8.69	78.99
间歇淋洗	0~20	7.29	-13.96	3.90	7.12	1.22	-1.08	0.02%	8.23	99.49
	20~40	7.22	-5.73	1.47	7.31	0.57	-0.47	0.06%	8.47	95.92
	40~60	7.11	-3.01	1.43	7.47	0.51	-0.46	0.12%	8.6	91.61
	60~80	7.08	-4.92	1.28	7.53	0.42	-0.64	0.29%	8.52	77.34
	80~100	7.04	-3.54	1.19	7.58	1.24	-2.25	0.31%	8.78	73.95

3 讨论

相同水量下间歇淋洗土柱的脱盐效率高于连续淋洗土柱,约为1.58倍,在间歇淋洗条件下,入渗速率较小,脱盐速率较高,这与前人的研究结果“入渗速率大小和入渗水量对土壤淋洗脱盐有着显著的影响,入渗过程中,淋洗水入渗速率越小,脱盐效果越好”一致^[1]。相同土层在不同淋洗方式下,脱盐需水量也各不相同。在连续淋洗和间歇淋洗条件下,达到一般农作物(计划湿润层为0~60 cm)生长所需淋洗水量分别为47.27 cm和41.16 cm,间歇淋洗比连续淋洗节约用水14.8%。因此为了更高效地利用灌溉淡水资源,选择间歇淋洗的方式进行计划湿润土层脱盐更为适宜,间歇淋洗滤出液排盐质量浓度较高,但随着时间的推移,2种淋洗方式的排盐质量浓度均呈降低趋势,这与前人的研究结果^[2]一致。不同的淋洗方式对脱盐效果有显著的影响,间歇淋洗的脱盐率高于连续淋洗。土壤中各离子量均出现较大幅度下降,不同淋洗方式间以间歇淋洗更为充分,脱盐率高于连续淋洗,本文研究结果与前人的研究结果^[3]一致。

综上,达到试验终点时,整个土体的pH值有升高的趋势,但是没有超出植物生长的承受范围,其他指标都符合植物生长的要求。盐渍土经过淋洗脱盐可以达到植物生长的要求,同时不同灌水方式,从试验结果来看,间歇淋洗明显比连续淋洗节约水;生产实践中,从节水角度考虑采用间歇淋洗土壤脱盐效果更好。

4 结论

1)在不同淋洗方式条件下,土体脱盐共有3个过程,分别为盐分峰值初步形成过程、盐分峰值向下移动过程和土柱底层土体盐分峰值消失过程;连续淋洗和间歇淋洗土柱为达到一般农作物(计划湿润层为0~60 cm)生长所需淋洗水量分别为47.27 cm和41.16 cm,间歇淋洗较连续淋洗省水14.8%。

2)连续淋洗和间歇淋洗滤液矿化度随时间均表现为幂函数关系;连续淋洗和间歇淋洗的滤液脱盐效率分别为18.45 g/L²和28.49 g/L²,连续淋洗的脱盐滤液效率为间歇淋洗的64.7%,因此为了更高效地利用灌溉淡水资源,应该优先选择间歇淋洗的方式。

3)连续淋洗和间歇淋洗洗后土壤含盐量、SAR、RSC和pH都发生了明显变化,无论是连续淋洗土柱还是间歇淋洗土柱脱盐的效果都是自表层下逐渐减弱。连续淋洗土柱和间歇淋洗土柱淋洗后含盐量是淋洗脱盐前的11.89%和8.39%(以40~60 cm土层为例),间歇淋洗的脱盐效果好于连续淋洗的脱盐效果;间歇淋洗土柱中各层pH值增量均小于在连续淋洗土柱中pH值的增量,并且在间歇淋洗后各层土壤pH值虽有增加,但是还在一般植物生长的允许范围内;间歇淋洗土柱中SAR值减小量大于连续淋洗土柱中SAR值减小量,RSC值增量小于连续淋洗土柱中RSC值增量,SAR和RSC值均在一般植物生长的允许范围内。

参考文献:

- [1] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社1993:10-113.
- [2] TRNKA M, KERSEBAUM K C, EITZINGER J, et al. Consequences of climate change for the soil climate in Central Europe and the central plains of the United States[J]. Climatic change, 2013, 120(1/2): 405-418.
- [3] FAN X, PEDROLI B, LIU G, et al. Soil salinity development in the yellow river delta in relation to groundwater dynamics[J]. Land Degradation & Development, 2012, 23(2): 175-189.
- [4] GEESON N A, BRANDT C J, THORNES J B. Mediterranean desertification: a mosaic of processes and responses [J]. Geographical Journal, 2003, 170(4):168-169.

- [5] QADIR M, NOBLE A D, SCHUBERT S, et al. Sodicity - induced land degradation and its sustainable management: Problems and prospects [J]. Land Degradation & Development, 2006, 17(6): 661-676.
- [6] 罗朋,张富仓,李晓军,等. 入渗水头对盐碱土水盐运移影响的试验研究[J]. 节水灌溉, 2008(6): 4-8.
- [7] 冯琛,解建仓,孙博,等. 蓄水条件下水体-土壤循环压盐机理试验研究[J]. 水土保持学报, 2011, 25(1): 184-187.
- [8] 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.
- [9] 王增丽,董平国,樊晓康,等. 膜下滴灌不同灌溉定额对土壤水盐分布和春玉米产量的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(12): 2 345-2 354.
- [10] 郭全恩,王益权,南丽丽,等. 灌水定额对旱区苹果园土壤水盐再分布的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(7): 1 863-1 870.
- [11] 罗雪园,周宏飞,柴晨好,等. 不同淋洗模式下干旱区盐渍土改良效果分析[J]. 水土保持学报, 2017,31(2): 322-326.
- [12] 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.
- [13] 王鹏山,张金龙,苏德荣,等. 不同淋洗方式下滨海沙性盐渍土改良效果[J]. 水土保持学报, 2012,26(3): 136-140.

Salt Leaching from Salt-affected Soils under Different Leaching Methods in the Yellow River Delta

YIN Chunyan^{1,2}, CHEN Xiaobing^{1*}, LIU Hu³, QIN Song¹, SUN Haishuan⁴, ZHANG Libin⁵

(1.Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes and Ecological Remediation, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 2. Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010010, China; 3. Institute of Water Resources for Pastoral Area Ministry of Water Resources, Hohhot 010010, China; 4. Shandong Huibang Bohai Agricultural Development Co., Ltd, Dongying 257091, China; 5. Dongying Institute of Science and Technology Information, Dongying 257091, China)

Abstract: 【Objective】 The objective of this paper is to experimentally study the efficacy of different leaching methods in reclaiming the salt-affected soil in the Yellow River Delta. **【Method】** The experiments were conducted in columns packed with saline soil, and we compared two leaching methods: continuous leaching and intermittent leaching. In each treatment, we measured the water consumption of the leaching, the changes in salt content in the leachate, the accumulative leachate, as well as salt leaching rate. In the meantime, we also measured the electrical conductivity in soil at 0~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm, 60~80 cm and 80~100 cm depth. **【Result】** ① There were three distinctive processes during the leaching process, including salt-peak formation process, downward movement of the dissolved salt and attenuation of the salt peak. Continuous leaching and intermittent leaching required 472.70 mm and 411.60 mm of water respectively to make the 0~60 cm soil able for crops to grow. ② The change in salt concentration in the leachate under continuous and intermittent leaching with time followed a power-law during the experimental period, and the desalination efficiency of the continuous and intermittent leaching was 18.45 g/L² and 28.49 g/L², respectively. ③ Taking 40~60 cm soil as an example, the leaching rate in it after continuous and intermittent leaching was 88.11% and 91.61% respectively. The increase in pH along the soil profile under intermittent leaching was less than that under continuous leaching. Although the soil pH in each soil layer increased slightly after intermittent leaching, it was within the tolerant range of plant growth. The decrease in SAR under intermittent leaching was less than that under continuous leaching, as supposed to RSC. However, both SAR and RSC were within the tolerant range for plant to grow. **【Conclusion】** Both continuous and intermittent leaching can desalinate the top soil to make it able for crops to grow, but the intermittent leaching was more water-efficient.

Key words: saline soil; soil column simulation; intermittent leaching and desalination; mineralization degree; desalination efficiency

责任编辑:刘春成