

不同水质淋洗与改良剂施用对银北灌区碱化盐土水盐运移的影响

樊丽琴, 李磊, 吴霞, 王旭

(宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 银川 750002)

摘要: 通过土柱模拟试验,开展了不同水质淋洗下磷石膏及其与酸性材料组合施用后对宁夏碱化盐土土壤水盐运移的影响研究。以黄河水、低矿化度农田退水和高矿化度农田退水作为淋洗水源,腐植酸、糠醛渣和硫酸铝作为酸性材料。结果表明:(1)不同水质淋洗下,垂直湿润锋推进深度、累积入渗水量与入渗时间的平方根均呈线性关系,黄河水淋洗下,改良剂组合措施表现最优,而在高矿化度农田退水淋洗下,单施磷石膏措施最优。(2)黄河水和低矿化度农田退水淋洗下,施用改良剂降低了 0—50 cm 土层土壤电导率,黄河水淋洗下“磷石膏+硫酸铝”处理最低;高矿化度农田退水淋洗下为“磷石膏+腐植酸”和“磷石膏+硫酸铝”处理表现较优;(3)随着淋洗水矿化度的增加,土壤 pH 降低深度增加,施用改良剂降低了 0—30 cm 土层的土壤 pH,黄河水淋洗下,“磷石膏+硫酸铝”处理表现最优;低矿化度农田退水淋洗下表现为“磷石膏+糠醛渣+硫酸铝”处理最低;高矿化度农田退水淋洗下表现为“磷石膏+糠醛渣”处理最低。(4)黄河水淋洗下,施用改良剂提高了不同深度土壤含水率,不同水质淋洗下,施用改良剂提高了 0—70 cm 土层深度土壤含水率,而各改良剂之间土壤含水率相差不大。综上所述,针对宁夏碱化盐土的改良,建议黄河水和高矿化度农田退水淋洗下,采用“磷石膏+硫酸铝”组合措施进行土壤改良;低矿化度农田退水淋洗下,采用“磷石膏+糠醛渣+硫酸铝”组合措施进行土壤改良。

关键词: 银北灌区; 碱化盐土; 不同水质水淋洗; 改良剂; 水盐运移

中图分类号: S156.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2020)06-0369-08

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2020.06.051

Effects of Leaching with Different Quality Water and Soil Amendments Application on Soil Water and Salt Transport in Alkalize Solonchaks in Yinbei Irrigation District

FAN Liqin, LI Lei, WU Xia, WANG XU

(Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002)

Abstract: Through soil column simulation test, the effect of phosphogypsum and its combined application with acidic materials on soil water and salt transport in alkalize solonchaks of Ningxia was studied under leaching with different quality water. In this study, the Yellow River water, low-salinity farmland backwater, and high-salinity farmland backwater were used as leaching water sources, and humic acid, furfural residue and aluminum sulfate were used as acidic materials. The results showed that: (1) Under the leaching with different quality water, there was a linear relationship between the depth of vertical wetting front or cumulative infiltration and the square root of infiltration time. Under the leaching of the Yellow River water, the “phosphogypsum + furfural residue + aluminum sulfate” treatment was the best, while under the leaching of high-salinity farmland backwater, the single application of phosphogypsum was the best. (2) The application of amendments reduced the electrical conductivity of 0—50 cm soil layer under the leaching of the Yellow River water and low-salinity farmland backwater. Under the leaching of the Yellow River water, the “phosphogypsum + aluminum sulfate” treatment had the lowest soil electrical conductivity. Under the leaching of high-salinity farmland backwater, the “phosphogypsum + furfural residue + aluminum sulfate” treatment had the lowest soil electrical conductivity. (3) With the increase of leaching water salinity,

收稿日期: 2020-04-15

资助项目: 国家自然科学基金项目(31960274); 宁夏回族自治区一二三产业融合发展科技创新示范项目(YES-16-0907); 宁夏农林科学院“十三五”重点科技项目(NKYZ-16-0905)

第一作者: 樊丽琴(1979—), 女, 河南漯河人, 硕士, 副研究员, 主要从事盐碱地改良与利用研究。E-mail: fanlqnx@126.com

the pH value of soil increased. The application of amendments reduced the pH value of 0—30 cm soil layer. Under the leaching of the Yellow River water, the “phosphogypsum+aluminum sulfate” treatment was the best. Under the leaching of low-salinity farmland backwater, the “phosphogypsum + furfural residue + aluminum sulfate” treatment was the best. Under the leaching of high-salinity farmland backwater, the “phosphogypsum+ furfural residue” treatment was the best. (4) Under the leaching of the Yellow River water, the application of amendments increased the soil water content at different depths. Under the leaching of different quality water, the application of amendments increased the water content of 0—70 cm soil layer, and there was not large difference among the treatments. For the improvement of alkalize solonchaks, it was suggested that under the leaching of the Yellow River water and high-salinity farmland backwater, a combination of “phosphogypsum+aluminum sulfate” should be used to improve the soil, while under the leaching of low-salinity farmland backwater, the combined measures of “phosphogypsum + furfural residue + aluminum sulfate” should be used.

Keywords: Yinbei Irrigation District; alkalize solonchaks; the leaching of different quality water; soil amendments; soil water and salt transport

施用化学改良剂是碱化土壤一种有效的改良措施,张济世等^[1]研究表明,腐植酸、糠醛渣、硫酸亚铁等酸性材料可明显降低土壤表层 pH,而磷石膏、脱硫石膏等含钙改良剂则显著降低了土壤交换性钠离子含量和钠的吸附比。但化学改良剂的施用需要结合灌溉淋洗措施进行。近年来,利用微咸水进行盐碱地农田灌溉成为研究^[2-3]的热点,室内土柱试验表明,对滨海盐土而言,与灌溉淡水相比,灌溉等量的微咸水降盐速度较快,且灌溉微咸水使土壤 pH 升高的程度要小于灌溉淡水^[4-5]。樊丽琴等^[6]研究表明,利用低矿化度农田排水淋洗宁夏龟裂碱土在降低 0—40 cm 土层土壤全盐和主要盐分离子方面效果较黄河水更为明显。无论是碱土还是盐土,微咸水入渗只能淋洗土壤上层盐分,使得土壤上层脱盐,土壤下层的盐分增加,特别是湿润锋处盐分聚积明显^[7]。含有适宜浓度盐分的入渗水利于抑制土壤黏粒的分散,促进土壤颗粒絮凝,使渗透性能增大^[8]。此外,有研究^[9]表明,施加石膏能够改善微咸水在盐碱土中的水分运动特性,提高微咸水利用率^[10],对滨海盐土改良效果明显。

国际上应用石膏改良碱化土壤已有 100 多年的历史^[11],磷石膏与脱硫石膏都是工业废弃物,主要成分均为 CaSO_4 ,其替代石膏应用于农田土壤改良可大大降低土壤改良成本。Zhao 等^[12]研究表明,东北苏打盐碱土施用脱硫石膏 2 年后,土壤电导率和 pH 可下降 38.6% 和 14.6%;Nan 等^[13]研究表明,脱硫石膏和腐植酸配施可增加土壤含水率,显著降低土壤盐分含量和 pH。在宁夏银北灌区,近年来常用的碱化土壤化学改良剂有脱硫石膏、磷石膏、糠醛渣等,磷石膏单一施用及其与糠醛渣、腐植酸和硫酸铝等不同酸性制剂组合施用,并结合不同水质淋洗后对宁夏碱化盐土水盐运移会产生何种影响目前尚未见报道。本

文针对宁夏银北碱化盐土渗透性差、盐分淋洗缓慢、区域农田退水未有效利用等问题,通过土柱模拟试验,开展了不同水质淋洗下磷石膏及其与酸性制剂组合施用后对土壤水盐运移影响的研究,以筛选出适合试区的碱化土壤改良剂,为银北碱化土壤化学改良利用提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试土样

供试土样于 2019 年 4 月取自宁夏石嘴山市平罗县黄渠桥镇通润村,该区域地处宁夏引黄灌区北部,属温带干旱荒漠气候区,太阳辐射量 4—10 月为 4 225.9 kJ/m²,6 月最强,为 716 kJ/m²;年平均日照时间 3 201.8 h,6 月最多;近 10 年来该区域降水量为 117.1~243.4 mm,年均降水量 184.3 mm,主要集中在 7—9 月;蒸发量为 1 708.7 mm。按土层 0—20, 20—40, 40—60, 60—80 cm 采集土样,将各层土壤分别进行自然风干、碾压、去杂、过 2 mm 筛充分混匀备用。测定试验土样各层土壤盐碱指标,各层土壤电导率依次为 3.07, 2.13, 2.36, 1.76 mS/cm, pH 依次为 8.95, 9.23, 9.47, 9.47。其中 0—20 cm 土层, SO_4^{2-} 、 Na^+ 和 Cl^- 为主要的盐分离子,分别占 48.27%, 24.58% 和 13.28% (质量百分比),按盐分组成划分可确定供试土样为碱化硫酸盐盐土。

1.2 试验设计

试验装置为有机玻璃制作而成。试验土柱直径为 15 cm,高度为 110 cm,土柱底部装有石英砂作为反滤层,土柱下方装有接排出液容器,土柱外标刻度用于记录湿润锋读数。采用马氏瓶定水头供水,外标刻度用于读取入渗水量。根据改良物质的不同设置 6 个处理,分别为:对照、磷石膏、磷石膏+腐植酸、磷石膏+糠醛渣、磷石膏+硫酸铝、磷石膏+糠醛渣+

硫酸铝。磷石膏 pH 为 4.40,主要含 CaO 和 SO₃,质量分数分别为 28.47%和 41.25%;腐植酸 pH 为 5.8,腐植酸总量为 71.48%;糠醛渣 pH 为 4.5,有机质质量分数为 87.03%;硫酸铝为农用硫酸铝。供水水源设黄河水、低矿化度农田退水、高矿化度农田退水 3 个处理,共 18 个处理,见表 1,每个处理重复 2 次。供水水质测定数据见表 2。将备用供试土样分层装填土柱,改良物质与 0—20 cm 土样充分混合后再装填土柱。

表 1 试验设计

处理	具体措施
T1	黄河水淋洗
T2	磷石膏(10.6 g/kg)土壤处理+黄河水淋洗
T3	“磷石膏(10.6 g/kg)+腐植酸(5.3 g/kg)”土壤处理+黄河水淋洗
T4	“磷石膏(10.6 g/kg)+糠醛渣(5.3 g/kg)”土壤处理+黄河水淋洗
T5	“磷石膏(10.6 g/kg)+硫酸铝(0.66 g/kg)”土壤处理+黄河水淋洗
T6	“磷石膏(10.6 g/kg)+糠醛渣(5.3 g/kg)+硫酸铝(0.66 g/kg)”土壤处理+黄河水淋洗
T7	低矿化度农田退水淋洗
T8	磷石膏(10.6 g/kg)土壤处理+低矿化度农田退水淋洗
T9	“磷石膏(10.6 g/kg)+腐植酸(5.3 g/kg)”土壤处理+低矿化度农田退水淋洗
T10	“磷石膏(10.6 g/kg)+糠醛渣(5.3 g/kg)”土壤处理+低矿化度农田退水淋洗
T11	“磷石膏(10.6 g/kg)+硫酸铝(0.66 g/kg)”土壤处理+低矿化度农田退水淋洗
T12	“磷石膏(10.6 g/kg)+糠醛渣(5.3 g/kg)+硫酸铝(0.66 g/kg)”土壤处理+低矿化度农田退水淋洗
T13	高矿化度农田退水淋洗
T14	磷石膏(10.6 g/kg)土壤处理+高矿化度农田退水淋洗
T15	“磷石膏(10.6 g/kg)+腐植酸(5.3 g/kg)”+高矿化度农田退水淋洗
T16	“磷石膏(10.6 g/kg)+糠醛渣(5.3 g/kg)”土壤处理+高矿化度农田退水淋洗
T17	“磷石膏(10.6 g/kg)+硫酸铝(0.66 g/kg)”土壤处理+高矿化度农田退水淋洗
T18	“磷石膏(10.6 g/kg)+糠醛渣(5.3 g/kg)+硫酸铝(0.66 g/kg)”土壤处理+高矿化度农田退水淋洗

表 2 淋洗水水质

水样	pH	矿化度/ (mg·L ⁻¹)	盐分组成/(mg·L ⁻¹)							钠吸附比/ (mmol _c ·L) ^{0.5}
			HCO ₃	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
黄河水	8.20	465	178.0	95.8	65.2	3.2	79.9	54.3	12.54	2.73
低矿化度农田退水	8.17	1521	385.5	409.6	301.5	12.4	387.0	72.2	62.20	9.56
高矿化度农田退水	8.21	2614	395.8	802.4	595.8	10.6	690.0	86.4	130.20	13.59

2 结果与分析

2.1 不同处理对垂直湿润锋推进深度的影响

湿润锋指在湿润带的末端,土壤含水量突变,与干层土有明显的界面。各处理垂直湿润锋下移深度与时间平方根的关系见图 1 和表 3。所有处理的湿润锋下移深度与时间的平方根呈明显的线性关系,决定系数均大于 0.98。由各处理的拟合直线斜率可知,与 T1 相比,其他处理的拟合直线斜率均有不同程度的增大。(1)无改良剂或同一改良剂施用下不同淋洗水质下拟合直线斜率表现为 T1<T7<T13、T2<T14<T8、T3>T9>T15、T4>T10>T16、T5>T11>

1.3 测试项目

淋洗开始后第 10,20,30,60,120,180,240 min 记录各试验土柱湿润锋位置刻度、土柱水位刻度和马氏瓶水位刻度,计算湿润锋推进深度和累积入渗水量,充分淋洗至 108 h 后对照淋洗水入渗基本停止,试验结束,将马氏瓶和土柱内剩余的水取出后采集各土柱内 0—10,10—20,20—30,30—40,40—50,50—60,60—70 cm 土样测定电导率、pH 和含水率。

T17、T6>T12>T18,说明随着淋洗水矿化度的增加,在无改良剂作用时,湿润锋下移速率增大;在单施磷石膏条件下,湿润锋下移速率呈先增加后降低趋势;在施用组合改良剂条件下,湿润锋下移速率呈下降趋势。(2)黄河水淋洗下拟合直线斜率表现为 T1<T2<T4<T5<T3<T6,斜率范围为 8.335~15.028,表现出改良剂组合措施下的湿润锋下移速率较高,其中“磷石膏+糠醛渣+硫酸铝”和“磷石膏+腐植酸”措施表现最优;低矿化度农田退水淋洗下拟合直线斜率表现为 T7<T9<T8<T11<T10<T12,斜率范围为 9.883~13.332,表现出“磷石膏+糠醛渣+硫酸铝”和“磷石膏+糠醛渣”组合措施下的

湿润锋下移速率较高;高矿化度农田退水淋洗下拟合直线斜率表现为 $T18 < T17 < T13 < T16 < T15 < T14$,斜率范围为 8.474~11.730,其中 $T17$ 和 $T18$ 数值接近, $T16$ 和 $T15$ 数值接近,表现出单施磷石膏措施下的湿润锋下移速率较高,“磷石膏+腐植酸”和“磷石膏+糠醛渣”组合措施次之。综上所述,在黄河水和低矿化度农田退水淋洗下,“磷石膏+糠醛渣+硫酸铝”组合措施下的湿润锋下移速率表现最优,而在高矿化度农田退水淋洗下,单施磷石膏措施表现最优。

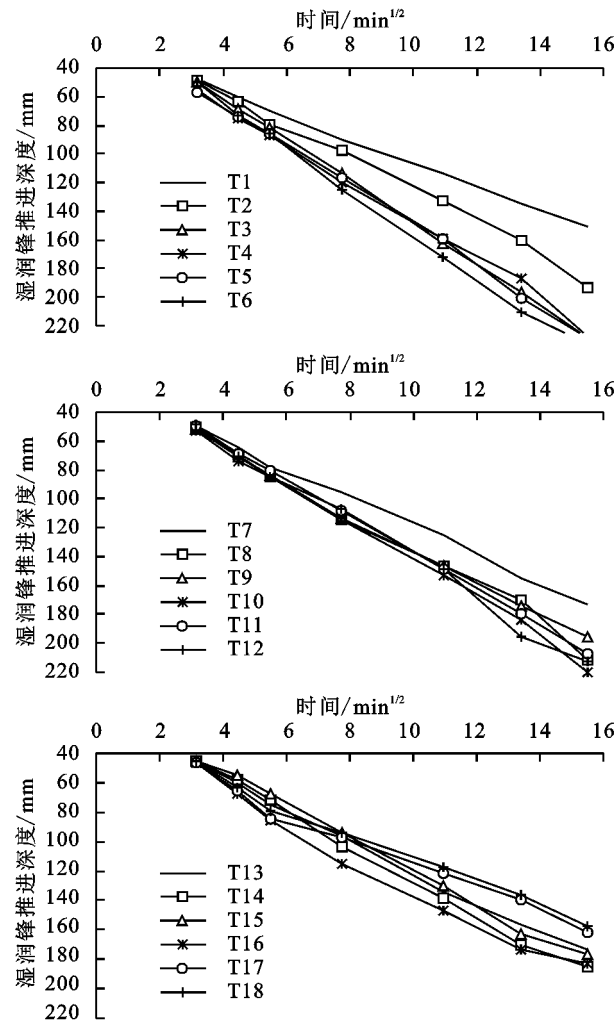


图 1 垂直湿润锋推进深度随时间平方根的变化曲线

表 3 各处理垂直湿润锋推进深度与入渗时间平方根之间的拟合方程

处理	拟合方程	决定系数 R^2	处理	拟合方程	决定系数 R^2
T1	$Z=8.335t^{1/2}+22.982$	0.9984	T10	$Z=13.052t^{1/2}+13.072$	0.9974
T2	$Z=11.290t^{1/2}+12.634$	0.9952	T11	$Z=12.602t^{1/2}+11.255$	0.9998
T3	$Z=14.506t^{1/2}+3.312$	0.9997	T12	$Z=13.332t^{1/2}+8.495$	0.9942
T4	$Z=13.422t^{1/2}+13.574$	0.9964	T13	$Z=10.471t^{1/2}+14.744$	0.9962
T5	$Z=14.016t^{1/2}+10.278$	0.9983	T14	$Z=11.730t^{1/2}+8.533$	0.9958
T6	$Z=15.028t^{1/2}+5.210$	0.9980	T15	$Z=11.219t^{1/2}+7.107$	0.9966
T7	$Z=9.883t^{1/2}+19.982$	0.9973	T16	$Z=11.175t^{1/2}+19.634$	0.9815
T8	$Z=12.233t^{1/2}+15.169$	0.9905	T17	$Z=8.695t^{1/2}+26.722$	0.9822
T9	$Z=11.522t^{1/2}+19.480$	0.9978	T18	$Z=8.474t^{1/2}+25.212$	0.9873

注:Z 为湿润锋下移深度(mm);t 为入渗时间(min)。

2.2 不同处理对累积入渗量的影响

累积入渗量指在一定时间内通过单位面积的总水量。各处理累积入渗水量与时间平方根的关系见图 2 和表 4。所有处理的累积入渗水量与时间的平方根呈明显的线性关系,各处理下的决定系数均大于 0.95。由各处理的拟合直线斜率可知,与 $T1$ 相比,其他处理的拟合直线斜率均有不同程度的增大,具体表现为:(1)无改良剂或同一改良物质不同淋洗水质下拟合直线斜率表现为 $T1 < T13 < T7$ 、 $T2 < T14 < T8$ 、 $T3 > T9 > T15$ 、 $T4 > T16 > T10$ 、 $T5 > T11 > T17$ 、 $T6 > T12 > T18$,说明随着淋洗水矿化度的增加,在无改良剂或者磷石膏单独作用时,淋洗水入渗速率均呈先增大后降低趋势,在组合改良剂施用下,淋洗水入渗速率呈下降趋势(“磷石膏+糠醛渣”组合措施例外,其在高矿化度农田退水淋洗下的淋洗水入渗速率略高于低矿化度农田退水淋洗)。(2)黄河水淋洗下拟合直线斜率表现为 $T1 < T2 < T4 < T6 < T3 < T5$,斜率范围为 0.283 8~0.535 5,表现改良剂组合措施下的淋洗水入渗速率较高,“磷石膏+硫酸铝”组合措施表现最优;低矿化度农田退水淋洗下拟合直线斜率表现为 $T11 < T7 < T9 < T10 < T12 < T8$,斜率范围为 0.343 1~0.436 8,表现出“磷石膏”与“磷石膏+糠醛渣+硫酸铝”组合措施下的淋洗水入渗速率最高,且两者效果相当;高矿化度农田退水淋洗下拟合直线斜率表现为 $T17 < T15 < T18 < T13 < T14 < T16$,斜率范围为 0.296 4~0.394 6,表现出“磷石膏”与“磷石膏+糠醛渣”组合措施下的淋洗水入渗速率最高。综上所述,随着淋洗水矿化度的增加,在无改良剂或者磷石膏单独作用时,淋洗水入渗速率均呈先增大后降低趋势,在组合改良剂施用下,淋洗水入渗速率呈下降趋势;黄河水淋洗下,施用改良剂明显提高了淋洗水入渗速率,组合措施优于单施磷石膏措施,其中“磷石膏+硫酸铝”组合措施下表现最优,而在农田退水淋洗下,单施“磷石膏”措施表现最优。

2.3 不同处理对土壤电导率的影响

从图 3 可以看出不同处理对土壤电导率的影响,淋洗结束后,黄河水淋洗下,0—10 cm 土层表现为 T5 最低,T6 和 T1 接近,T2 和 T4 最高;10—20 cm 土层表现为 T3 最低,T1 最高;20—30 cm 土层表现为 T6 和 T2 最低,T1 最高,T3 次之;30—40 cm 土层表现为 T2 和 T5 最低,T1 最高。低矿化度农田退水淋洗下,0—10 cm 土层表现为 T7 最低,T10 次之,T12 和 T9 最高;10—20 cm 土层表现为 T7 最低,T10 次之,T8 最高;20—30 cm 土层表现为 T7 最低,T12 最高;30—40 cm 土层表现为 T12 和 T10 最低,T7 最高;40 cm 以下土层也均表现为 T7 最高。高矿化度农田退水淋洗下,0—10 cm 土层表现为 T13 最低,T14 和 T15 最高;10—20 cm 土层表现为 T13 最低,T14 最高;20—30 cm 土层表现为 T16 最高,T17 最低;30—40 cm 土层各处理差异不大;40—70 cm 土层 T13 明显高于其他处理。由于宁夏银北灌区盐碱土盐分淋洗至浅层后容易返盐,故以淋洗后 0—50 cm 土层土壤平均电导率评价各处理改良效果(表 5),黄河水淋洗下表现为“磷石膏+硫酸铝”、“磷石膏”和“磷石膏+糠醛渣+硫酸铝”3 个处理电导率下降最大,电导率分别较对照下降 70.98%,67.93%和 67.27%;低矿化度农田退水淋洗下各改良剂处理之间土壤电导率数值接近,电导率较对照下降范围为 19.33%~25.83%;高矿化度农田退水淋洗下,表现为“磷石膏+腐植酸”处理和“磷石膏+硫酸铝”处理土壤电导率下降最大,电

导率较对照分别下降 18.64%和 16.70%。

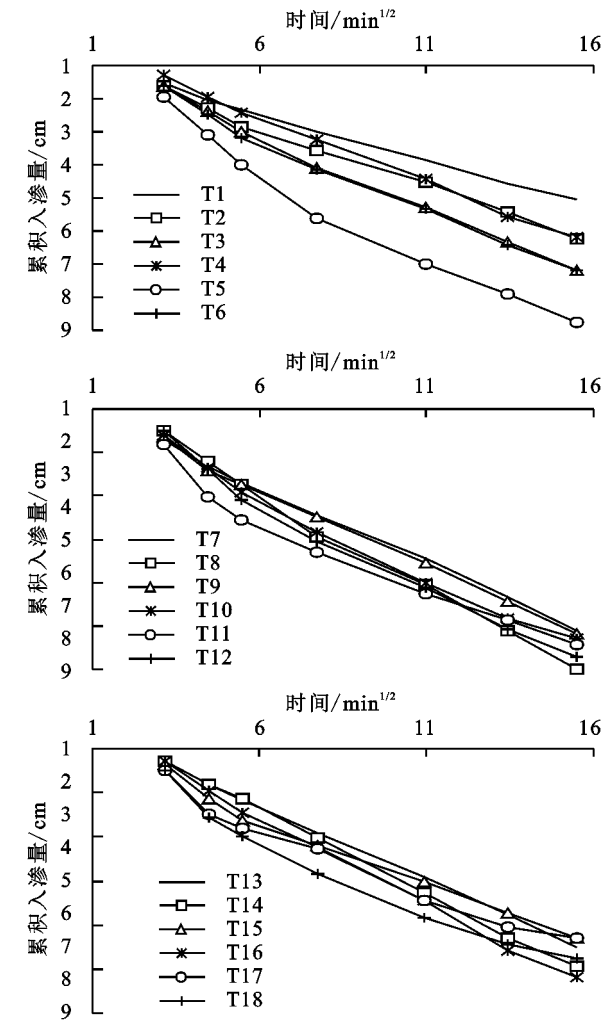


图 2 累积入渗量随时间平方根的变化曲线

表 4 各处理累积入渗量与入渗时间平方根之间的拟合方程

处理	拟合方程	决定系数 R^2	处理	拟合方程	决定系数 R^2
T1	$Z=0.2838t^{1/2}+0.7368$	0.9967	T10	$Z=0.3784t^{1/2}+0.6936$	0.9870
T2	$Z=0.3580t^{1/2}+0.6871$	0.9931	T11	$Z=0.3431t^{1/2}+1.3435$	0.9577
T3	$Z=0.4419t^{1/2}+0.4348$	0.9945	T12	$Z=0.4057t^{1/2}+0.6124$	0.9842
T4	$Z=0.4142t^{1/2}+0.9871$	0.9659	T13	$Z=0.3358t^{1/2}+0.2825$	0.9994
T5	$Z=0.5355t^{1/2}+0.8332$	0.9728	T14	$Z=0.3820t^{1/2}+0.0078$	0.9995
T6	$Z=0.4379t^{1/2}+0.5449$	0.9906	T15	$Z=0.2986t^{1/2}+0.7453$	0.9818
T7	$Z=0.3456t^{1/2}+0.7216$	0.9986	T16	$Z=0.3946t^{1/2}+0.1670$	0.9975
T8	$Z=0.4368t^{1/2}+0.2915$	0.9954	T17	$Z=0.2964t^{1/2}+0.9778$	0.9691
T9	$Z=0.3534t^{1/2}+0.7213$	0.9963	T18	$Z=0.3294t^{1/2}+0.7870$	0.9823

注:Z 为累积入渗量(cm);t 为入渗时间(min)。

2.4 不同处理对土壤 pH 的影响

从土壤 pH 变化(图 4)来看,黄河水淋洗下,0—10 cm 土层表现为 T4 最低,T1 最高;10—20 cm 土层表现为 T4 和 T6 最低,T1 最高;20—30 cm 土层表现为 T5 最低,T1 次之,T3 最高;30—40 cm 土层表现为 T4 最高,T2 次之,T1 最低。低矿化度农田退水淋洗下,0—10 cm 土层表现为 T7 高,T12 和 T9 最低,但与其他几个处理差异不大;10—20 cm 土层表现为 T7 最高,T12 最低;20—30cm 土层表现为

T7 最高,T12 最低;30—40 cm 土层表现为 T8 最高,但与其他几个处理差异不大。高矿化度农田退水淋洗下,0—10 cm 土层表现为 T13 最高,T15 和 T18 最低;10—20 cm 土层表现为 T13 最高,T16 最低;20—30 cm 土层表现为 T13 最高,T16 最低;30—40 cm 土层表现为 T13 最高,T16 和 T14 最低;40—60 cm 土层 T15 最高,T13 最低。考虑到 0—30 cm 土层土壤碱性对作物危害严重的特点,以淋洗后 0—30 cm 土层土壤平均 pH 评价各处理改良效果(表 5),

黄河水淋洗下表现为“磷石膏+硫酸铝”处理土壤 pH 最低,较对照下降 0.40 个 pH 单位;低矿化度农田退水淋洗下表现为“磷石膏+糠醛渣+硫酸铝”处理土壤 pH 最低,较对照下降 1.06 个 pH 单位;高矿化度农田退水淋洗下,表现为“磷石膏+糠醛渣”处理土壤 pH 最低,较对照下降 1.13 个 pH 单位,“磷石膏”和“磷石膏+硫酸铝”2 个处理次之,均较对照下降 0.91 个 pH 单位。

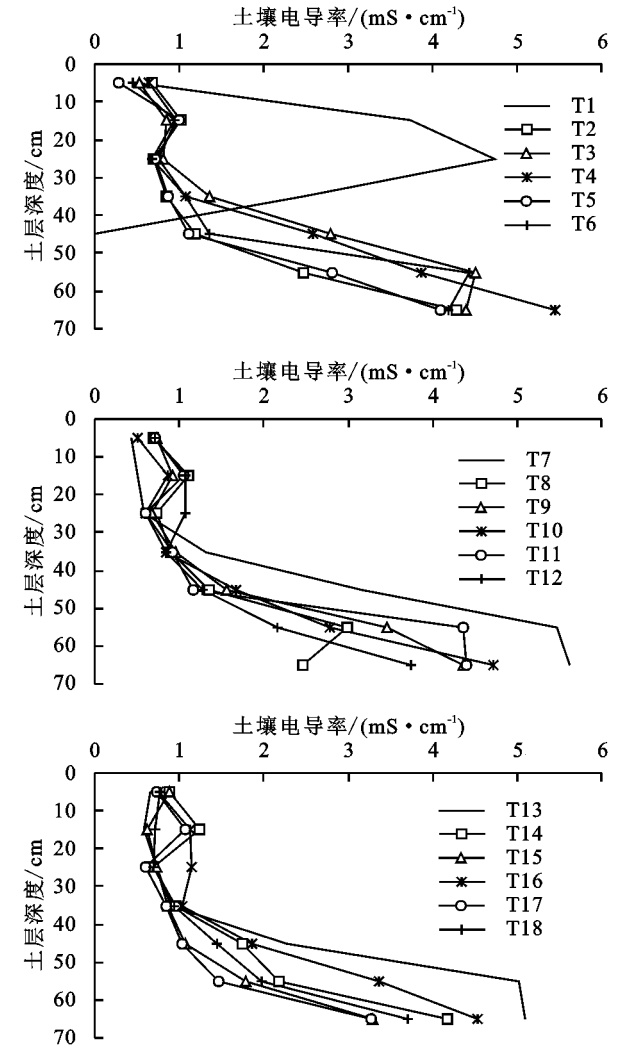


图 3 不同处理对土壤电导率的影响

表 5 不同处理对 0—50 cm 土层电导率、0—30 cm 土层 pH 和 0—70 cm 土层含水率的影响							
处理	电导率/ (mS·cm ⁻¹)	pH	含水率/ %	处理	电导率/ (mS·cm ⁻¹)	pH	含水率/ %
T1	2.75	9.04	8.80	T10	0.90	8.64	27.54
T2	0.88	8.90	27.53	T11	0.89	9.01	27.43
T3	1.27	8.94	27.10	T12	0.94	8.47	27.88
T4	1.20	8.85	26.83	T13	1.03	9.65	23.84
T5	0.80	8.64	27.76	T14	1.11	8.74	27.45
T6	0.90	8.78	26.62	T15	0.84	8.87	27.71
T7	1.20	9.53	24.27	T16	1.18	8.52	26.23
T8	0.96	8.68	26.89	T17	0.86	8.74	28.42
T9	0.97	8.77	27.07	T18	0.92	9.05	28.12

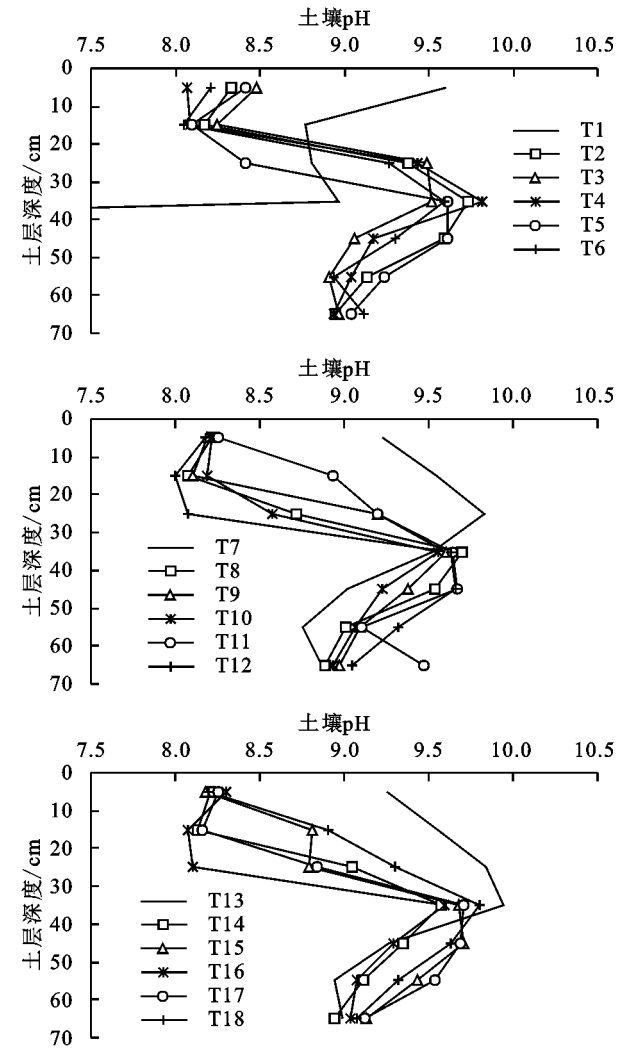


图 4 不同处理对土壤 pH 的影响

2.5 不同处理对土壤含水率的影响

从土壤含水率(图 5)来看,黄河水淋洗下,施用改良剂均明显提高不同深度土壤含水率,主要受改良剂施用后增加淋洗水入渗速率、淋洗水入渗水量远大于不施改良剂处理的影响。由图 5 和表 5 可以看出,不同水质淋洗下,施用改良剂提高了 0—70 cm 土层土壤平均含水率。各改良剂处理下,土壤平均含水率相差不大,黄河水淋洗下,各处理土壤含水率范围为 26.62%~27.76%,“磷石膏+硫酸铝”处理最高;低矿化度农田退水淋洗下,各处理土壤含水率范围为 26.89%~27.88%,”磷石膏+糠醛渣+硫酸铝”处理最高;高矿化度农田退水淋洗下,各处理土壤含水率范围为 26.23%~28.42%,”磷石膏+硫酸铝”处理最高。

3 讨论

刘小媛等^[14]研究表明,随微咸水矿化度的增加,重度盐碱土壤累积入渗量、湿润锋运移深度、土壤含水率呈现增大的趋势;张继红等^[9]研究认为,微咸水入渗条件下,土壤胶体中的 Na⁺被石膏中 Ca²⁺代换出来形成钙质胶体,会降低土壤入渗速率,增加土壤保水性能。本

研究与以上研究结论并不完全一致,这是因为土壤渗透性能受淋洗水水质、改良物质、土壤物理特性和盐碱类型等多种因素影响。本研究表明,黄河水和低矿化度农田退水淋洗下,施用改良剂可明显提高湿润锋下移速率,表现为改良剂组合措施下效果最好,而在高矿化度农田退水淋洗下,则表现为单施磷石膏措施下效果最好;黄河水淋洗下,施用改良剂可明显提高淋洗水入渗速率,改良剂组合措施下效果最好,而在农田退水淋洗下,单施“磷石膏”措施表现最优。

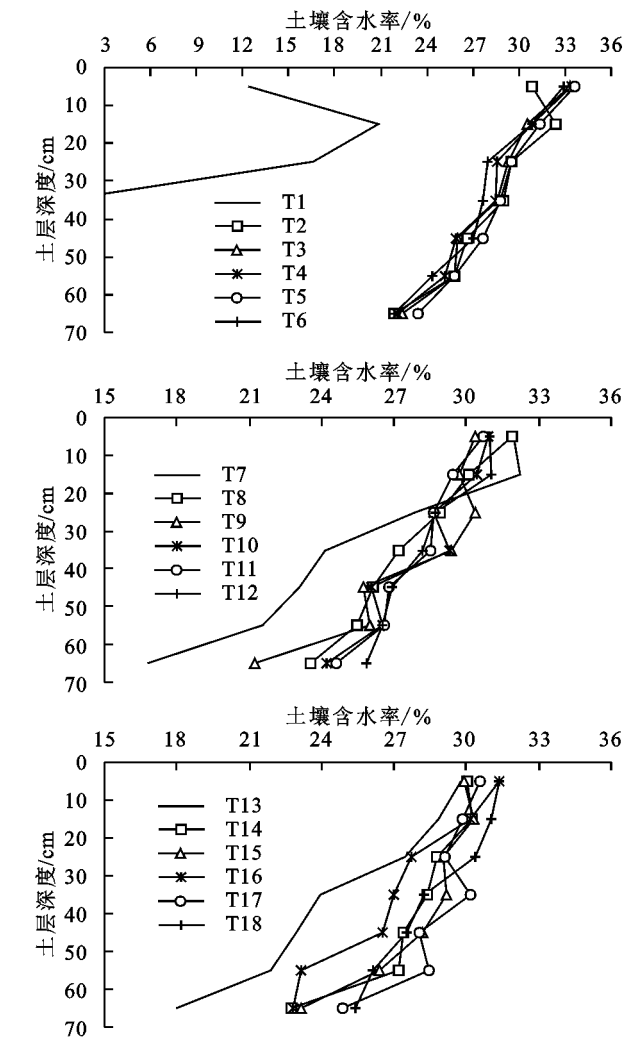


图 5 不同处理对土壤含水率的影响

由于微咸水较淡水中含有较多的盐分,微咸水灌溉通常会导致土壤剖面盐分含量增加^[15],但适度盐分浓度的灌溉水有利于提升土壤团聚体的稳定性,抑制土壤板结,改善受灌土壤的入渗性能,降低入渗水流运动的非均匀性^[16]。一些研究^[17-18]表明,利用微咸水灌溉淋盐和石膏改碱技术优势形成的石膏-微咸水复合灌溉技术,可实现淋盐改碱的双重效果;刘易等^[19]的研究也表明,微咸水灌溉导致土壤 pH 上升,磷石膏改良剂施用能有效控制灌溉导致的土壤 pH 变化,并降低耕层土壤总盐含量。本研究中供试土样来自宁夏银北灌区,该区碱化土壤面积大,重度

碱化盐土多分布在淡水资源缺乏、排水不畅、地下水位高的区域,传统的利用大量黄河水淋洗土壤盐分的方法不可持续。本研究中,土壤改良所采用的材料多为廉价材料,且供试淋洗水源为农田退水,二者结合应用到农田中土壤改良成本低,相关研究成果可在生产中进行推广应用。本研究表明,淡水和低矿化度农田退水淋洗下,施用改良剂降低 0—50 cm 土层土壤电导率,且黄河水和高矿化度农田退水淋洗下均表现为磷石膏与硫酸铝配合施用效果较好,而低矿化度农田退水淋洗下各改良剂处理之间的土壤电导率差异不大,可能是淋洗水水质、改良剂特性、供试土壤盐碱特性综合作用的结果,具体原因有待进一步通过试验查明;从各处理土壤 pH 来看,施用改良剂降低 0—30 cm 土层土壤平均 pH,且随着淋洗水矿化度的增加,土壤 pH 降低深度从 20,30 cm 至 40 cm,说明高矿化度微咸水配合改良剂施用对降低上层土壤 pH 效果明显,可有效缓解微咸水灌溉对土壤 pH 的不利影响。已有许多研究^[20-21]表明,碱化土壤施用磷石膏配合淋洗措施在土壤脱盐及降低土壤碱性方面效果明显;腐植酸是一种有机弱酸和弱酸盐,对盐碱离子具有螯合、吸附和离子交换作用,石膏和腐植酸组合施用降低土壤 pH 效果明显^[22-23];糠醛渣(玉米芯制取糠醛后的废料)具有酸性特征,富含大量有机质,故也能降低碱土 pH,改善土壤结构,提高土壤渗透性^[24];硫酸铝已证实应用于苏打盐碱土上可表现出良好的降碱效果^[25]。

4 结论

- (1)不同水质淋洗下,垂直湿润锋推进深度、累积入渗水量与入渗时间的平方根均呈线性关系,黄河水淋洗下,改良剂组合措施表现最优,而在高矿化度农田退水淋洗下,单施磷石膏措施最优。
- (2)黄河水和低矿化度农田退水淋洗下,施用改良剂降低 0—50 cm 土层土壤电导率,随着淋洗水矿化度的增加,土壤电导率降低深度下移,从 10—40, 30—70 cm 土层到 40—70 cm 土层。0—50 cm 土层土壤电导率在施用不同改良剂配合不同水质淋洗下的表现不同,黄河水淋洗下表现为“磷石膏+硫酸铝”处理最低;低矿化度农田退水淋洗下各处理土壤电导率数值接近;高矿化度农田退水淋洗下表现为“磷石膏+腐植酸”处理和“磷石膏+硫酸铝”处理最低。
- (3)施用改良剂降低了 0—30 cm 土层土壤平均 pH,随着淋洗水矿化度的增加,土壤 pH 降低深度从 20,30 cm 至 40 cm。黄河水淋洗下,“磷石膏+硫酸铝”处理表现最优;低矿化度农田退水淋洗下“磷石膏+糠醛渣+硫酸铝”处理表现最优;高矿化度农田

退水淋洗下,“磷石膏+糠醛渣”处理表现最优,“磷石膏”和“磷石膏+硫酸铝”2 个处理次之,

(4)黄河水淋洗下,施用改良剂提高了不同深度土壤含水率,不同水质淋洗下,施用改良剂提高 0—70 cm 土层土壤含水率,而各改良剂之间土壤含水率相差不大。

考虑到 0—30 cm 土层土壤 pH 和 0—50 cm 土层土壤电导率对碱化盐土改良效果起决定性作用,建议黄河水和高矿化度农田退水淋洗下,采用“磷石膏+硫酸铝”组合措施进行土壤改良;低矿化度农田退水淋洗下,采用“磷石膏+糠醛渣+硫酸铝”组合措施进行土壤改良。

参考文献:

- [1] 张济世,于波涛,张金凤,等.不同改良剂对滨海盐渍土土壤理化性质和小麦生长的影响[J].植物营养与肥料学报,2017,23(3):704-711.
- [2] 牟晓宇,庞桂斌,张立志,等.微咸水灌溉对盐碱地土壤水盐分布与冬小麦产量的影响[J].中国农村水利水电,2019(8):28-35.
- [3] 韩建均.滨海盐渍土地区土壤水盐调控和改良措施的研究[D].南京:南京农业大学,2012.
- [4] 张余良,王正祥,廉晓娟,等.灌溉不同水质条件下滨海盐土脱盐动态的研究[J].农业环境科学学报,2010,29(2):324-329.
- [5] 王艳,吴勇,廉晓娟,等.不同矿化度水淋洗重度盐碱土的水盐运移特征[J].灌溉排水学报,2011,30(4):39-43.
- [6] 樊丽琴,杨建国,尚红莺,等.淋洗水质和水量对宁夏龟裂碱土水盐运移的影响[J].水土保持学报,2015,29(6):258-262.
- [7] 杨艳,王全九.微咸水入渗条件下碱土和盐土水盐运移特征分析[J].水土保持学报,2008,22(1):13-19.
- [8] Li B H, Cao Y T, Guan X Y, et al. Microbial assessments of soil with a 40-year history of reclaimed wastewater irrigation[J].Science of the Total Environment,2019,651:696-705.
- [9] 张继红,王全九,谭帅,等.微咸水入渗下施加石膏对盐碱土水分运动特征的影响[J].水土保持学报,2016,30(4):130-135.
- [10] 廉晓娟,李明悦,郑鹤龄,等.微咸水淋洗与施改良剂结合对滨海盐土的改良效果[J].天津农业科学,2009,15(6):14-16.
- [11] Sakai Y, Matsumoto S, Sadakata M. Alkali soil reclamation with flue gas desulfurization gypsum in China

and assessment of metal content in corn grains[J].Soil and Sediment Contaminations,2004,13(1):65-80.

- [12] Zhao Y G, Wang S J, Li Y, et al. Extensive reclamation of saline-sodic soils with flue gas desulfurization gypsum on the Songnen Plain, Northeast China[J].Geoderma,2018,321:52-60.
- [13] Nan J K, Chen X M, Wang X Y, et al. Effects of applying flue gas desulfurization gypsum and humic acid on soil physico-chemical properties and rapeseed yield of a saline-sodic cropland in the eastern coastal area of China[J].Journal of Soils and Sediments,2016,16:38-50.
- [14] 刘小媛,高佩玲,张晴雯.微咸水矿化度对重度盐碱土壤入渗特征的影响[J].干旱地区农业研究,2018,36(1):102-107.
- [15] Amer K H. Corn crop response under managing different irrigation and salinity levels[J].Agricultural Water Management,2010,97(10):1553-1563.
- [16] 盛丰,张敏,薛如霞,等.灌溉水中盐分对土壤结构性质及水流运动特征的影响[J].水利学报,2019,50(3):346-355.
- [17] Mitchell J P, Shennan C, Singer M J, et al. Impacts of gypsum and winter cover crops on soil physical properties and crop productivity when irrigated with saline water[J].Agricultural Water Management,2000,45:55-71.
- [18] Choudhary O P, Josan A S, Bajwa M S, et al. Effect of sustained sodic and saline-sodic irrigation and application of gypsum and farmyard manure on yield and quality of sugarcane under semi-arid conditions [J].Field Crops Research,2004,87:103-116.
- [19] 刘易,冯耀祖,黄建,等.微咸水灌溉条件下施用不同改良剂对盐渍化土壤盐分离子分布的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(1):146-152.
- [20] 刘瑞敏,杨树青,史海滨,等.河套灌区中度盐渍化土壤改良产品筛选研究[J].土壤,2017,49(4):776-781.
- [21] 张涛,李素艳,孙向阳,等.磷石膏、红糖等对蚯蚓改良滨海盐土的促进作用[J].土壤学报,2017,54(1):255-264.
- [22] 王相平,杨劲松,张胜江,等.石膏和腐植酸配施对干旱盐碱区土壤改良及棉花生长的影响[J].土壤,2020,52(2):327-332.
- [23] 孙在金.脱硫石膏与腐植酸改良滨海盐碱土的效应与机理研究[D].北京:中国矿业大学,2013.
- [24] 杨柳青,付明鑫.糠醛渣对苏打盐渍土的改良效果研究[J].中国土壤与肥料,1999,17(3):54-55.
- [25] 孙宇男.淋洗对硫酸铝改良苏打盐碱土的辅助效果研究[D].长春:吉林农业大学,2011.