

微咸水-改良材料协同调控对碱化土壤水盐运移的影响

樊丽琴, 沈婧丽, 王旭

(宁夏农林科学院 农业资源与环境研究所, 银川 750002)

摘要:【目的】探索微咸水-改良材料协同调控对碱化土壤水盐运移的影响。【方法】基于一维垂直土柱入渗试验研究不同微咸水淋洗结合不同改良材料对碱化土壤水盐运移的影响。【结果】水分入渗速率和累积入渗量表现为“磷石膏”处理最大, 随着淋洗水矿化度的增加, 累积入渗量和湿润锋推进深度呈增加趋势, 但各处理间的差异变小。与其他处理相比, “磷石膏”和“硫酸亚铁+柠檬酸”处理在 1.2 g/L 矿化度水淋洗条件下可显著降低 0~40 cm 土层的土壤全盐量, 但在 3.6 g/L 矿化度水淋洗条件下则会增加上层土壤盐分量。1.2 g/L 和 2.4 g/L 矿化度水淋洗条件下, “磷石膏”处理显著降低了 0~30 cm 土层的土壤 Na^+ 、 Cl^- 、 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ 等有害盐分离子量, 而在 3.6 g/L 矿化度水淋洗下, “硫酸亚铁+柠檬酸”处理在降低 0~30 cm 土层的 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ 、 Na^+ 量以及 10~20 cm 土层的 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ 量方面的效果更好。“柠檬酸+磷酸亚铁”和“磷石膏”处理在降低 0~10 cm 土层的土壤 pH 值方面的效果相当, 但“磷石膏”处理在降低 0~30 cm 土层的土壤 pH 值方面的效果更显著。【结论】对于银北灌区碱化土壤, 在低矿化度水淋洗条件下, 可施用磷石膏进行土壤改良, 在高矿化度水淋洗条件下, “磷石膏”和“硫酸亚铁+柠檬酸”的结合施用效果更好。

关键词: 微咸水; 改良材料; 碱化土壤; 土壤全盐量; 盐分离子; 土壤 pH 值

中图分类号: S157.4

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2023004

樊丽琴, 沈婧丽, 王旭. 微咸水-改良材料协同调控对碱化土壤水盐运移的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(Supp.1): 65-69.

FAN Liqin, SHEN Jingli, WANG Xu. Effect of Synergistic Regulation with Brackish Water and Improvement Material on Water and Salt Transport in Alkaline Soil[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(Supp.1): 65-69.

0 引言

【研究意义】淡水资源短缺是我国盐碱地区域农业发展的主要限制因素, 合理开发微咸水资源是解决水资源短缺的有效途径^[1]。【研究进展】微咸水灌溉会导致土壤剖面盐分尤其是下层土壤的盐分量增加^[2-3], 但在一定矿化度范围内, 微咸水入渗速率高于淡水, 土壤 pH 值升高的程度也小于淡水^[4]。当利用钠吸附比较高的微咸水进行灌溉时, 会导致表层土壤 Na^+ 量增加, 需要在表层土壤添加改良材料以缓解 Na^+ 对土壤环境的危害^[5]。目前常用的碱化土壤改良材料有磷石膏、脱硫石膏、腐植酸、糠醛渣、硫酸亚铁。腐植酸、糠醛渣、硫酸亚铁等酸性材料可明显降低表层土壤 pH 值, 磷石膏、脱硫石膏等含钙改良剂可显著降低土壤交换性钠离子量和钠吸附比^[6],

而石膏与其他改良材料配合施用改良碱土的效果更明显^[7]。此外, 施用适量水溶性改良剂生物基磺酸盐也可有效降低土壤全盐量和 pH 值^[8]。微咸水滴灌配施石膏可提高土壤脱盐率、降低 Na^+ 量和 Cl^- 量^[9]。基于微咸水灌溉淋盐和石膏改碱技术优势的石膏-微咸水复合灌溉技术, 可实现盐分淋洗目的^[10-11]。【切入点】在宁夏银北灌区, 尚未改良的盐碱地主要分布在地势低洼、淡水资源紧缺的区域, 传统的通过施用磷石膏或脱硫石膏结合黄河水淋洗进行改良的方法会受到淡水资源不足的限制, 而利用农田退水、地下水等微咸水资源进行灌溉是可行的。【拟解决的关键问题】因此, 有必要开展不同微咸水-改良材料协同调控对土壤水分入渗和盐分分布的影响研究, 为银北灌区碱化土壤节水改良提供技术支撑和理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土样

供试土样于 2021 年 4 月取自宁夏石嘴山市惠农区燕子墩乡, 该区域地处宁夏引黄灌区北部, 属温带干旱荒漠气候区, 年平均降水量为 180 mm, 主要集中在 7—9 月, 年平均蒸发量为 1 708.7 mm。按 0~10、

收稿日期: 2023-01-04 修回日期: 2023-01-04

基金项目: 宁夏自然科学基金项目“微咸水-改良材料协同调控下碱化土壤水分入渗和盐碱特性研究”(2021AAC03268); 宁夏农业高质量发展和生态保护科技创新示范课题“银北盐碱地水盐协同调控与生物改良技术研究及示范”(NGSB-2021-11-03); 国家自然科学基金项目“农田退水灌溉和玉米种植方式对宁夏盐碱地水盐运移的影响”(31960274)

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

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

10~20、20~30、30~40、40~50、50~60、60~70、70~80 cm 分层采集土样,将各层土样分别进行自然风干、碾压,0~30 cm 土层过 3 mm 筛,30~70 cm 土层因风干碾压后含有大量片状结构体,因此过 5 mm 筛,同一层次土壤混匀后保存备用。各层土壤全盐量依次为 2.24、2.20、2.15、1.88、1.43、1.21、1.04、0.75 g/kg, pH 值依次为 9.69、9.75、9.48、9.66、9.74、9.41、9.34、9.60。

1.2 试验设计

试验土柱装置由有机玻璃制作而成,土柱直径 15 cm,高 110 cm,土柱底部装有石英砂作为反滤层,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。根据淋洗水矿化度和改良物质的不同设置 18 个处理,见表 1。低、中、高淋洗水矿化度为 1.2、2.4、3.6 g/L,淋洗水量均为 4 L,每个处理重复 3 次。装填土柱时每次控制深度为 5 cm,压实完毕后用刷毛梳理表层土壤后再装填下一层。对于添加磷石膏、糠醛渣、硫酸铝等改良材料的土柱,在 0~20 cm 土层土壤装填前,按施用量分别与该层土壤充分混匀后再进行填装;对于添加生物基磺酸盐、硫酸亚铁、柠檬酸

等改良材料的土柱,在淋洗前按照施用量分别施入淋洗水中待用。采用马氏瓶定水头供水,马氏瓶外标刻度用于读取入渗水量。

1.3 测试指标

于淋洗开始后第 5、10、20、30、60、90、120、180、240、300、420、540、720 min 记录土柱湿润锋刻度、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。淋洗至第 540 min 时,T2、T8、T14—T17 处理的淋洗水全部入渗完毕,此时将其他处理未入渗的淋洗水全部取出,然后将土柱放置 48 h 后采集土样,测定土壤盐分离子量及 pH 值。土壤电导率采用 DDS-307A 型电导仪测定,并按经验公式换算为土壤全盐量,pH 值采用梅特勒托利多 pH 计测定,Na⁺量采用火焰光度计测定,Cl⁻量采用硝酸银滴定法测定,硫酸根离子量采用 EDTA 间接络合滴定法测定,HCO₃⁻和 CO₃²⁻量采用双指示剂—中和滴定法测定。

1.4 数据处理

应用 Excel 进行数据分析和绘图。

表 1 试验设计

Table 1 Experimental design

处理	描述	处理	描述
T1	低矿化度水淋洗	T10	硫酸铝+中矿化度水淋洗
T2	磷石膏+低矿化度水淋洗	T11	硫酸亚铁+柠檬酸+中矿化度水淋洗
T3	糠醛渣+低矿化度水淋洗	T12	生物基磺酸盐+中矿化度水淋洗
T4	硫酸铝+低矿化度水淋洗	T13	高矿化度水淋洗
T5	硫酸亚铁+柠檬酸+低矿化度水淋洗	T14	磷石膏+高矿化度水淋洗
T6	生物基磺酸盐+低矿化度水淋洗	T15	糠醛渣+高矿化度水淋洗
T7	中矿化度水淋洗	T16	硫酸铝+高矿化度水淋洗
T8	磷石膏+中矿化度水淋洗	T17	硫酸亚铁+柠檬酸+高矿化度水淋洗
T9	糠醛渣+中矿化度水淋洗	T18	生物基磺酸盐+高矿化度水淋洗

注 每个土柱的改良材料施用量根据田间推荐施用量换算决定,磷石膏和糠醛渣施用量为 26.50 g,硫酸铝施用量为 2.65 g;生物基磺酸盐施用量为 5.30 g,硫酸亚铁和柠檬酸施用量分别为 4.0 g 和 2.0 g。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤水分入渗特性的影响

由表 2 可知,在 1.2~3.6 g/L 矿化度水淋洗条件下,各处理的垂直湿润锋推进深度与时间的平方根呈明显的线性关系,决定系数均大于 0.9。无改良剂或相同改良剂施用条件下,随着淋洗水矿化度的增加,湿润锋下移速度呈增加趋势。在磷石膏处理下,不同淋洗水质下的拟和直线斜率值较为接近;低矿化度水淋洗条件下表现为磷石膏处理下的湿润锋下移速率最高,硫酸铝处理次之;高矿化度水淋洗下表现为磷石膏处理下的湿润锋下移速率最高,硫酸铝处理下次之。

由表 3 可知,各处理的累积入渗水量与时间的平方根也呈明显的线性关系。由各处理的拟合直线斜率

可看出,无改良剂或同一改良剂施用下,随着淋洗水矿化度的增加,各改良剂处理下的水分入渗速率呈增加趋势。磷石膏处理下,不同淋洗水质下的拟合直线斜率值较为接近;低矿化度和高矿化度水淋洗下均表现为磷石膏处理下的水分入渗速率最高,“硫酸亚铁+柠檬酸”处理次之;中矿化度水淋洗下则表现出磷石膏处理下的入渗速率最高,硫酸铝处理次之。

“硫酸亚铁+柠檬酸”处理在低矿化度水淋洗下的湿润锋下移速率、水分入渗速率以及在高矿化度水淋洗下的水分入渗速率仅次于“磷石膏”处理,而“硫酸铝”处理在中矿化度水淋洗下的湿润锋下移速率、水分入渗速率以及在高矿化度水淋洗下的湿润锋下移速率仅次于“磷石膏”处理。

表 2 各处理垂直湿润锋推进深度与入渗时间之间的拟合方程

Table 2 Fitting equation between wetting front advancing depth and infiltration time

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	$Z=0.658\ 7t^{1/2}+3.081\ 1$	0.942\ 6	T10	$Z=1.363\ 4t^{1/2}+0.426\ 1$	0.995\ 1
T2	$Z=1.810\ 1t^{1/2}-0.200\ 9$	0.994\ 1	T11	$Z=1.310\ 2t^{1/2}+2.268\ 4$	0.991\ 7
T3	$Z=0.592\ 7t^{1/2}+2.419\ 6$	0.965\ 3	T12	$Z=1.121\ 9t^{1/2}+2.351\ 6$	0.985\ 0
T4	$Z=0.920\ 0t^{1/2}+1.456\ 5$	0.986\ 8	T13	$Z=1.596\ 9t^{1/2}-0.439\ 1$	0.995\ 1
T5	$Z=1.005\ 2t^{1/2}+2.391\ 5$	0.984\ 4	T14	$Z=1.952\ 5t^{1/2}+0.374\ 0$	0.994\ 4
T6	$Z=0.690\ 2t^{1/2}+3.574\ 4$	0.927\ 1	T15	$Z=1.603\ 5t^{1/2}+0.891\ 0$	0.995\ 6
T7	$Z=0.968\ 9t^{1/2}+1.566\ 8$	0.994\ 1	T16	$Z=1.751\ 1t^{1/2}+1.271\ 2$	0.995\ 3
T8	$Z=1.781\ 1t^{1/2}-0.964\ 0$	0.994\ 0	T17	$Z=1.724\ 5t^{1/2}+1.678\ 3$	0.991\ 0
T9	$Z=1.227\ 6t^{1/2}+1.196\ 8$	0.993\ 2	T18	$Z=1.656\ 9t^{1/2}+1.134\ 3$	0.992\ 9

注 Z 为湿润锋下移深度 (mm); t 为入渗时间 (min)。

表 3 各处理累积入渗量与入渗时间平方根之间的拟合方程

Table 3 Fitting equation between cumulative infiltration and infiltration time

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	$Z=0.199\ 4t^{1/2}-0.993\ 3$	0.935\ 8	T10	$Z=0.428\ 6t^{1/2}+0.565\ 0$	0.991\ 1
T2	$Z=0.634\ 6t^{1/2}-0.791\ 4$	0.992\ 2	T11	$Z=0.415\ 5t^{1/2}+0.901\ 0$	0.988\ 4
T3	$Z=0.203\ 4t^{1/2}+0.946$	0.935\ 3	T12	$Z=0.364t^{1/2}+0.902\ 9$	0.986\ 9
T4	$Z=0.299\ 2t^{1/2}+0.148\ 6$	0.984	T13	$Z=0.528\ 7t^{1/2}-0.371\ 6$	0.995\ 3
T5	$Z=0.341\ 6t^{1/2}+0.492$	0.977\ 2	T14	$Z=0.692\ 6t^{1/2}-0.254\ 4$	0.994\ 8
T6	$Z=0.190\ 0t^{1/2}+1.624\ 4$	0.855\ 0	T15	$Z=0.569\ 5t^{1/2}-0.437\ 2$	0.997\ 5
T7	$Z=0.284\ 1t^{1/2}+0.335\ 1$	0.996\ 1	T16	$Z=0.394\ 6t^{1/2}+0.167$	0.997\ 5
T8	$Z=0.588\ 3t^{1/2}-0.167\ 2$	0.993\ 6	T17	$Z=0.632\ 6t^{1/2}+0.384\ 5$	0.996\ 2
T9	$Z=0.388\ 9t^{1/2}+0.715\ 1$	0.989\ 3	T18	$Z=0.600\ 7t^{1/2}+0.624\ 6$	0.994\ 2

注 Z 为累积入渗量 (mm); t 为入渗时间 (mm)。

2.2 不同处理对土壤全盐量及有害盐离子量的影响

由图 1 可知,无改良材料条件下,随着淋洗水矿化度的增加,0~10 cm 土层全盐量呈缓慢增加趋势,30~50 cm 土层全盐量呈先增加后降低的趋势。有改良材料作用下,由 0~40 cm 土层平均全盐量来看,低矿化度水淋洗下,T2 处理和 T5 处理下的土壤全盐量降低幅度最大,相比 T1 处理分别降低了 31.70%和

30.69%;中矿化度水淋洗下,各处理相比 T7 处理的全盐量降低幅度介于 11.53%~18.33%,T9~T11 处理的降低幅度最大;高矿化度水淋洗下,T15、T16 处理和 T18 处理较 T13 处理降低了土壤全盐量,降低幅度低于 10%,而 T14 处理和 T17 处理下的全盐量增加幅度也低于 10%。

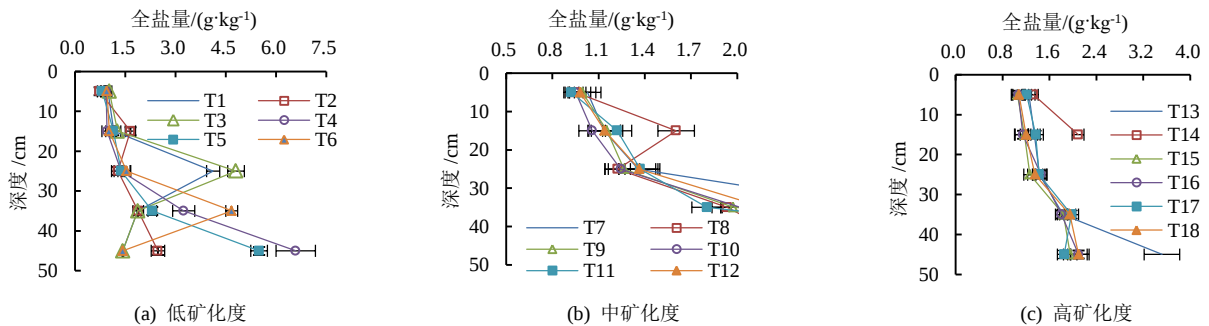


图 1 不同处理对土壤全盐量的影响

Fig.1 The effect of different treatments on total salinity of soil profile

从土壤有害盐分离子的分布来看(图 2),1.2、2.4 g/L 矿化度水淋洗下,石膏处理下的 0~30 cm 土层 Na^+ 、 Cl^- 、 $\text{HCO}_3^-+\text{CO}_3^{2-}$ 量的平均值最低;3.6 g/L 矿化度水淋洗下,“磷石膏”和“硫酸亚铁+柠檬酸”处理下的 0~30 cm 土层 $\text{HCO}_3^-+\text{CO}_3^{2-}$ 量的平均值最低。30~50 cm 土层 Na^+ 量显著高于其他处理。2.4、3.6 g/L 矿化度水淋洗下,石膏处理下的 0~30 cm 土层 SO_4^{2-} 量平均值最高,分别相比 T7 处理和 T13 处理增加了 53.27%和 103.97%。石膏处理下,随着淋洗水矿化度的增加,0~10 cm 土层的土壤 Na^+ 和 SO_4^{2-} 量呈增加趋势, Cl^- 量呈先降低后增加的趋势, $\text{HCO}_3^-+\text{CO}_3^{2-}$ 量呈

先增加后降低趋势;在 10~20 cm 土层,随着淋洗水矿化度的增加, Na^+ 、 Cl^- 、 $\text{HCO}_3^-+\text{CO}_3^{2-}$ 量均呈增加趋势。

2.3 不同处理对土壤 pH 值的影响

由图 3 可知,无改良材料作用下,随着淋洗水矿化度的增加,0~20 cm 土层土壤 pH 值呈缓慢降低趋势。与低矿化度水淋洗相比,在高矿化度水淋洗下,各改良材料处理之间 0~10 cm 土层和 40~50 cm 土层的土壤 pH 值差异明显变小。与其他改良材料相比,施用磷石膏在降低 0~30 cm 土层尤其是 10~20 cm 土层土壤的 pH 值效果更明显。0~10 cm 土层,“硫酸亚

铁+柠檬酸”处理降低 pH 值效果与磷石膏处理相当，低矿化度水淋洗下，二者相比对照（T1）分别下降了 0.57 和 0.61，中矿化度水淋洗下，相比对照（T7）分别下降了 0.51 和 0.62，高矿化度水淋洗下，较对照（T13）分别下降了 0.31 和 0.30，由此可见，“石膏”

处理和“柠檬酸+磷酸亚铁”处理在降低 0~10 cm 土层土壤 pH 值方面的效果相当。在 10~30 cm 土层，硫酸亚铁+柠檬酸处理降低 pH 值效果显著小于磷石膏处理，由此可见，在降低土壤 pH 值方面，磷石膏的效果优于其他改良材料。

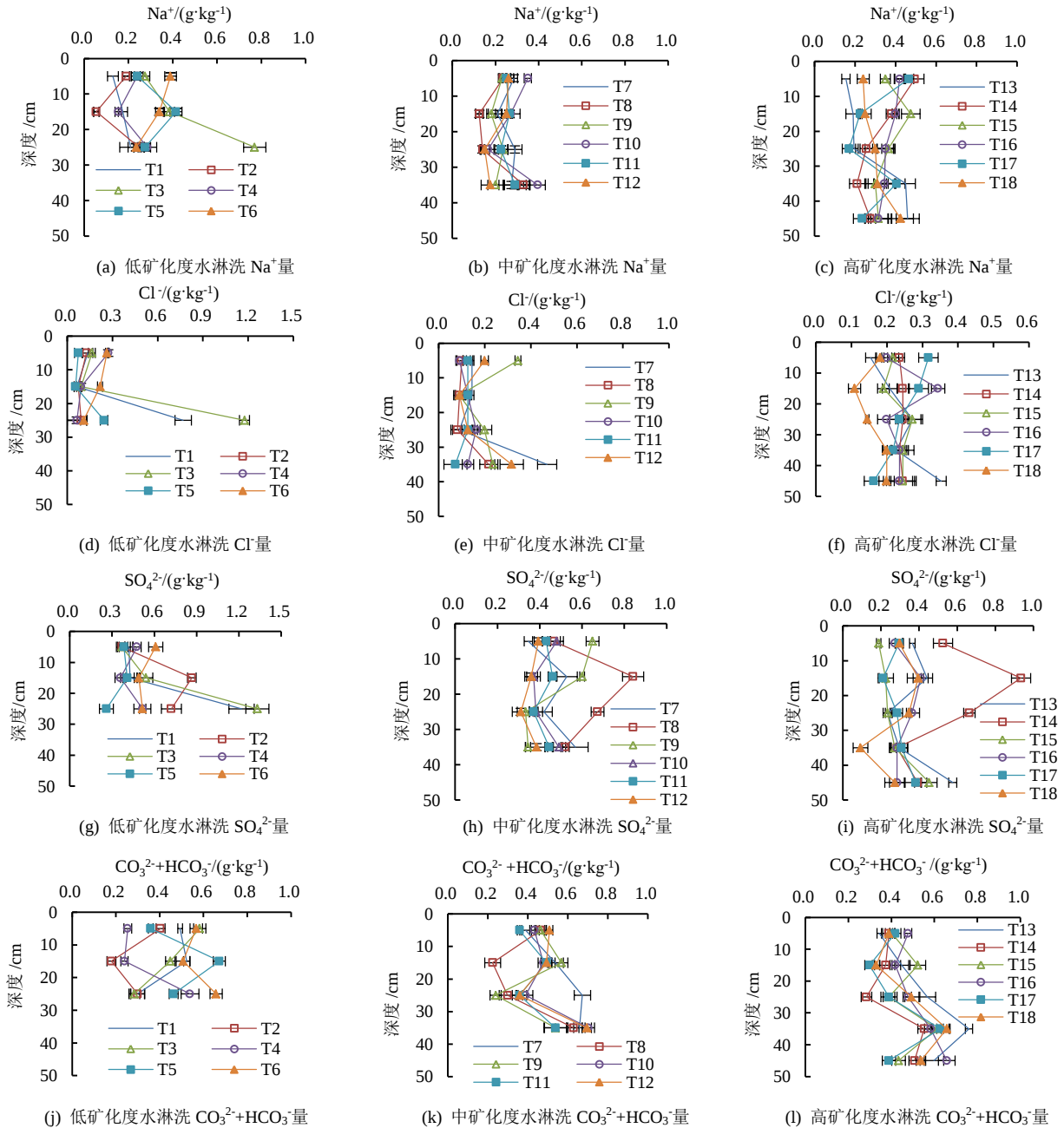


图 2 不同处理对土壤有害盐离子分布的影响

Fig.2 The effect of different treatments on harmful salt ions of soil profile

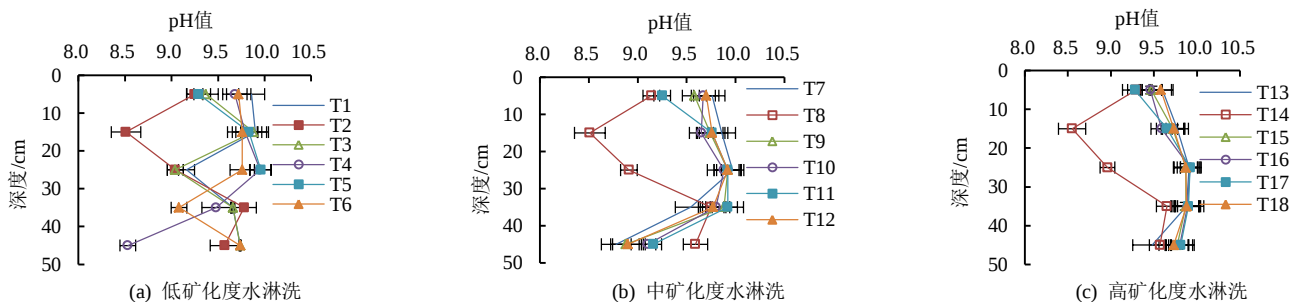


图 3 不同处理对土壤 pH 值的影响

Fig.3 The effect of different treatments on pH value of soil profile

3 结 论

在 1.2~3.6 g/L 矿化度水淋洗下, 土壤水分入渗速率和累积入渗水量表现为“磷石膏”处理最大, 随着淋洗水矿化度的增加, 累积入渗水量和湿润锋推进深度呈增加趋势, 但各处理间差异呈降低趋势。

1.2、2.4 g/L 矿化度水淋洗下, 磷石膏处理在降低 0~30 cm 土层 Na^+ 、 Cl^- 、 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 量方面效果明显; 3.6 g/L 矿化度水淋洗下, “硫酸亚铁+柠檬酸”处理在降低 0~30 cm 土层 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ 和 Na^+ 量以及 10~20 cm 土层 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ 量方面效果更好。

对银北灌区碱化土壤而言, 在低矿化度水淋洗下, 可施用“磷石膏”进行土壤改良, 在高矿化度水淋洗下, 施用磷石膏有增加表层土壤积盐风险, 建议将磷石膏作为土壤改良材料, “硫酸亚铁+柠檬酸”作为淋洗水改良材料, 二者结合应用在农业生产中。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

参考文献:

- [1] 王全九, 毕远杰, 吴忠东. 微咸水灌溉技术与土壤水盐调控方法[J]. 武汉大学学报(工学版), 2009, 42(5): 559-564.

- [2] AMER K H. Corn crop response under managing different irrigation and salinity levels[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(10): 1 553-1 563.
- [3] VULKAN-LEVY R, RAVINA I, MANTELL A, et al. Effect of water supply and salinity on Pima cotton[J]. *Agricultural Water Management*, 1998, 37(2): 121-132.
- [4] 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.
- [5] 吴忠东, 王全九. 微咸水钠吸附比对土壤理化性质和入渗特性的影响研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(1): 231-236.
- [6] 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.
- [7] 秦萍, 张俊华, 孙兆军, 等. 降碱抑盐改良剂对重度盐化碱土的改良效果[J]. *干旱地区农业研究*, 2019, 37(4): 269-275, 283.
- [8] 李娜, 张峰举, 许兴, 等. 生物基磺酸盐改良剂对盐碱土的改良效果及油菜生长的影响[J]. *西北农业学报*, 2018, 27(10): 1 478-1 484.
- [9] 郑复乐, 姚荣江, 杨劲松, 等. 改良材料对微咸水滴灌农田土壤盐分分布与离子组成的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2020, 39(8): 60-71.
- [10] 樊丽琴, 李磊, 吴霞, 等. 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[J]. *水土保持学报*, 2020, 34(6): 369-376.
- [11] 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.

Effect of Synergistic Regulation with Brackish Water and Improvement Material on Water and Salt Transport in Alkaline Soil

FAN Liqin, SHEN Jingli, WANG Xu

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

Abstract: 【Background】The shortage of fresh water resources and soil salinization are two major factors restricting agricultural sustainable utilization of saline-alkali land in Yinbei Irrigation District of Ningxia. 【Objective】The Coordinated Regulation on brackish water irrigation and improved materials is an effective way to improve alkaline soil under the background of water shortage. 【Method】Through the one-dimensional vertical soil column infiltration test, the effect of combined different brackish water and different improvement material on water and salt transport in alkaline soil was studied. 【Result】①the water infiltration rate and the cumulative infiltration water amount is the largest in the “phosphogypsum” treatment. The differences between treatments became smaller with the salinity increase of leaching water ②under the leaching water with 1.2 g/L salinity, compared with the control, the total salt content in 0-40 cm soil layer of “phosphogypsum” and “ferrous sulfate + citric acid” treatment was significantly decreased by 31.70% and 30.69%, respectively, but under the leaching water with 3.6 g/L salinity, the two treatment would increase salinity of the upper soil. ③The content of Na^+ , Cl^- , $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ in 0-30 cm soil layer of “phosphogypsum” treatment was significantly decreased under the leaching water with 1.2 g/L and 2.4 g/L salinity, but with the salinity increase of leaching water, the leaching effect of Na^+ and Cl^- decreased, and SO_4^{2-} content increased. Under the leaching water with 3.6 g/L salinity, the “ferrous sulfate + citric acid” treatment had a better effect on decreasing the content of $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ and Na^+ in 0-30 cm soil layer, and the content of $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ in 10-20 cm soil layer. ④the “ferrous sulfate + citric acid” treatment had the same effect on decreasing soil pH value of 0-10 cm soil layer with the “phosphogypsum” treatment, but the latter had a more obvious effect on decreasing soil pH value of 0-30 cm soil layer, especially 10-20 cm soil layer. 【Conclusion】For alkalized soil in Yinbei Irrigation District, under light-saline water leaching, it is advisable to use phosphogypsum as soil amendment, but under high-saline water leaching, there is a better effect if phosphogypsum combined with “ferrous sulfate + citric acid” are applied.

Key words: brackish water; improved materials; alkalized soil; total salt content; soil salt ions; soil pH value

责任编辑: 韩 洋