

掺沙对盐渍土土块崩解和土壤盐分淋洗的影响机理

亓波¹, 李靖江¹, 高崧¹, 孟书翰¹, 杨佳慧¹, 雷廷武^{1,2}

(1.山东农业大学水利土木工程学院, 山东 泰安 271018; 2.中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083)

摘要: 黄河三角洲地区的土壤入渗性能差, 且盐分含量高, 掺沙可以加速盐渍土块崩解, 改良土壤质地与结构, 从而改善入渗性能和水盐在土壤运移过程。以黄河三角洲地区盐渍土土块为研究对象, 采用室内土柱模拟试验, 设置 3 种掺沙比例: CK(0)、S1(20%)、S2(50%), 土块组成: $<1\text{ mm}$ (20%), $1\sim 2\text{ mm}$ (28%), $2\sim 5\text{ mm}$ (34%), $5\sim 10\text{ mm}$ (18%) 研究积水入渗条件下掺沙比例对相继 2 次入渗过程中盐渍土土块崩解及其对水盐运移的影响, 从而明确掺沙对盐渍土的改良效果。结果表明, 在第 1 次灌水淋洗和水分再分布后, 用干筛法和湿筛法测量得到 S1 和 S2 土壤 $>0.25\text{ mm}$ 的土块含量, 较对照组分别降低 17.92%, 15.50% 和 51.45%, 32.00%; 不同掺沙比例下, 同一时刻的湿润锋和累计入渗量均表现为 $S2>S1>CK$, 且 S1 和 S2 的稳定入渗率在第 1 次和第 2 次入渗过程中, 较对照组分别增加 60.00%, 66.67% 和 400.00%, 900.00%; 同一土层深度的脱盐率随掺沙比例增加, 掺沙比例为 50% 时, 脱盐深度比 20% 和对照组分别增加 33.3% 和 45.45%, 脱盐量分别提高 1.19%~19.01% 和 4.21%~77.52%。综上, 盐渍土掺沙可以有效促进盐渍土块崩解, 提高入渗速率和洗盐效率。研究结果可为盐碱地改良提供参考依据。

关键词: 盐渍土改良; 土块; 掺沙; 湿润锋; 脱盐率

中图分类号: S156.4⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2021)06-0369-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2021.06.049

Influence Mechanism of Sand Mixing on Soil Clod Disintegration and Soil Salt Leaching of Saline Soil

QI Bo¹, LI Jingjiang¹, GAO Song¹, MENG Shuhan¹, YANG Jiahui¹, LEI Tingwu^{1,2}

(1.College of Water Conservancy and Civil Engineering, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018;

2.College of Water Resource and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083)

Abstract: The soil in the Yellow River Delta is featured with poor infiltration and high salinity. Sand incorporation into saline soil can promote disintegration of saline soil clods and improve the soil texture and structure, so as to improve soil infiltration and soil water and salt movement in the soil profile. This study used the saline soil clod in the Yellow River Delta as the experimental materials to investigate the effect mechanism of sand incorporation into saline soil on soil clod disintegration and soil salt leaching under three sand incorporation rates: CK (0), S1 (20% sands), S2 (50% sands), with soil clod composition $<1\text{ mm}$ (20%), $1\sim 2\text{ mm}$ (28%), $2\sim 5\text{ mm}$ (34%), and $5\sim 10\text{ mm}$ (18%). The effects of sand incorporation rates on the disintegration of saline soil and its effect on water and salt transports during two consecutive infiltrations were studied. The contents of $>0.25\text{ mm}$ soil clods in S1 and S2 soils were obtained by dry and wet sieving methods. The results indicated that the contents decreased by 17.92%, 15.50% and 51.45%, 32.00%, in S1 and S2 soils respectively, compared with the control group. Under different sand incorporation rates, the wetting front and cumulative infiltration were in the order of $S2>S1>CK$. And the stable infiltration rates of S1 and S2 during the first and second infiltration processes increased by 60.00%, 66.67% and 400.00%, 900.00%, respectively, compared with the control group. The salt leaching rate of the same soil depth increased with the sand incorporation rates. When the sand incorporation rate was 50%, the leaching depth increased by 33.3% and 45.45% compared with 20% incorporation rate and the control group, respectively. The salt

收稿日期: 2021-06-14

资助项目: 国家自然科学基金项目(41230746, 51621061)

第一作者: 亓波(1997—), 男, 硕士研究生, 主要从事盐碱土改良研究。E-mail: 18853856293@163.com

通信作者: 雷廷武(1958—), 男, 教授, 主要从事土壤侵蚀和旱地农业研究。E-mail: leitw@cau.edu.cn

leaching amount increased by 1.19%~19.01% and 4.21%~77.52%. In a word, saline soil mixed with sand can effectively promote the salt leaching of saline soil to improve the infiltration rate and salt leaching efficiency. This study can provide a reference basis for saline-alkali soil improvement.

Keywords: saline soil improvement; clods; sand mixing; wetting front; desalination rate

全球超过 9 亿 hm^2 ($>6\%$) 的农田受到盐分的影响,土壤盐渍化严重威胁区域农业发展和生态安全^[1]。黄河三角洲是我国东部沿海地区重要的经济开发带,但土壤盐渍化程度较高,盐渍化土地面积高达 63.22 万 hm^2 ^[2]。盐渍土的物理化学性质特殊,可适宜种植作物的种类少、产量低,制约土地的粮食生产功能^[3]。同时,盐碱地也是重要的农业土地资源,亟需寻求合理的措施改良土壤结构,调控土壤水盐运移,降低土壤的盐渍化程度,从而改善作物的生长土壤环境,提高作物产量和土地生产效率。

目前,黄河三角洲地区盐渍土改良主要有水利、物理、化学、生物等措施^[4]。其中,水利工程措施改良效果好但其成本较高、周期长,生物措施仅适用于盐渍化水平低的土壤,使用化学改良剂容易引发土壤的次生盐渍化。然而,物理改良主要是通过平整土地、客土、压沙、松土、抬田等,阻断盐分向地表上升的过程,具有操作简便、效果持久、对环境污染小等优点^[5]。掺沙是改良盐碱地的重要物理改良方法,可以加快水分入渗,提高盐分淋洗效率,增加土壤水分含量,达到降低耕层土壤盐分储量的目的。蔺亚莉等^[6]提出,盐渍土掺沙有利于降低土壤容重,提高土壤通气透水性;刘旋旋等^[7]研究发现,盐渍土掺沙可以加快湿润锋推移进程,掺沙率越高,影响效果越明显,并且在掺沙率 $>25\%$ 时影响幅度较大;Mandal 等^[8]研究发现,土壤入渗率随着沙层覆盖面积的增大而增大。由此可见,前人对盐渍土掺沙和覆沙改良措施进行了大量研究,但研究工作主要集中在掺沙通过降低土壤容重、增大孔隙度等方面改善土壤入渗性能和脱盐效率,且研究对象主要是粒径 $<2\text{ mm}$ 的土壤。已有研究缺乏掺沙对黄河三角洲地区盐渍土块崩解、增加入渗、提高洗盐效率的研究成果。

值得注意的是,土壤在耕作过程中会受到一定程度的破碎,主要以不同大小土块的形式存在,且土块之间存在不同大小的孔隙。Germann 等^[9]在 1982 年的研究发现,含有大孔隙或微孔隙的土壤水分入渗由 2 部分组成:第一部分为水流通过土壤基质入渗,该部分入渗由土壤基质势和重力势控制;第二部分为水流绕过土块的基质通道,通过土壤大孔隙或微孔隙进入土壤,水分在土壤中的运动过程主要受重力控制。前人^[10]研究表明,大孔隙流是土壤中一种普遍

存在的现象,大孔隙的变化存在不确定性,会增加土壤入渗过程的复杂性,目前对土壤入渗的研究不考虑土壤大孔隙的存在。因此,研究掺沙对盐渍土块崩解前后基质入渗的影响,及其对土壤盐分淋洗效率具有重要意义。

鉴于此,本研究将掺沙改良应用于黄河三角洲地区的盐渍土块,通过对比不同掺沙比例对土壤入渗性能、土块崩解以及脱盐率变化,探讨掺沙对盐渍土土块崩解和水盐运移的影响,以期对滨海盐渍土的改良提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与装置

试验于 2020 年 7 月 6 日至 9 月 1 日在山东农业大学水利试验大厅环境土壤物理研究实验室进行。供试土壤取自山东省东营市广饶县滨海新区($37^{\circ}18'22''\text{N}$, $118^{\circ}39'27''\text{E}$),选取多个取样点,取 0—30 cm 土层深度的土壤,风干(含水率为 1.3 g/kg)后过筛(1, 2, 5 mm)备用。根据《滨海盐渍土的改良和利用》^[11],该土壤为重度盐渍土(41.06 g/kg),各土层平均容重为 1.52 g/cm^3 ,电导率 $EC_{1:5}$ 为 14.64 dS/m, pH 为 8.53。土壤颗粒组成为黏粒 9.57%,粉粒 54.53%,砂粒 35.90%,根据国际土壤质地分类标准,为粉砂质壤土。试验中采用掺混盐渍土的供试沙砾粒径有 96.68%分布在 0.063~0.25 mm,不含盐分。

模拟入渗试验装置见图 1。土柱采用高 80 cm、内径 10 cm 的有机玻璃土柱,供水装置为马氏瓶,高 50 cm、内径 8 cm。

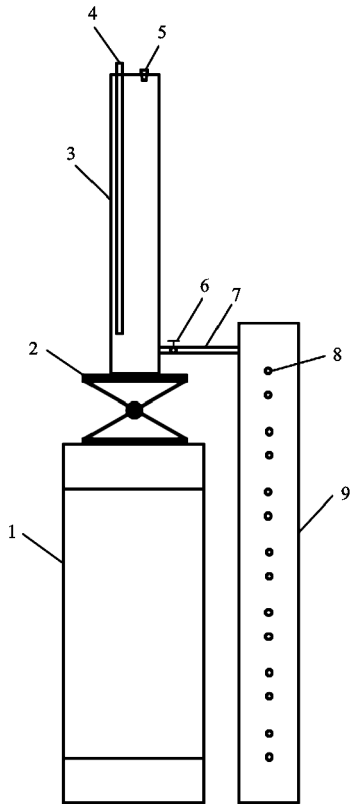
1.2 试验设计

一维垂直积水入渗试验在室内进行,试验按照沙粒所占质量分数设置 3 种掺沙比例,分别为对照组 0 (CK), 20% (S1), 50% (S2), 对应的土沙配比分别为 10:0, 8:2, 5:5, 入渗水头为 5 cm。每组试验重复 3 次,分析计算采用 3 次试验数据的平均值。

1.2.1 配土方法 本研究所用土块的粒径 $<10\text{ mm}$,为了保证掺沙均匀,将不同粒径范围的土块按照不同质量百分比均匀掺混进行试验,不同粒径范围的土块占比为: $<1\text{ mm}$ (20%), 1~2 mm(28%), 2~5 mm(34%), 5~10 mm(18%)。由土块颗粒大小分布计算得到该土壤的不均匀系数 $C_u=5.24$, 曲率系

数 $C_c=1.04$, 当 $C_u \geq 5$ 且 $1 < C_c < 3$ 时土壤的颗粒级配良好^[12]。

1.2.2 试验过程 将掺沙后的土沙混合物按每 5 cm 一层定容重装入土柱, 层间打毛处理以防止土壤层之间的不连续性。土柱顶部铺设滤纸及 2 mm 厚度的沙层, 以阻隔地表入渗水流进入下层土壤中的大孔隙形成优先流。装入容器的土柱总深度为 70 cm。装填完毕后, 在室温下静置 12 h 开始试验。第 1 次灌水入渗至湿润锋运移到 10 cm 土柱深度处停止供水, 在入渗过程中记录马氏瓶水位变化和湿润峰推进距离; 抽干土壤表面的积水后, 通过取样孔在不同深度采集 20~30 g 土样, 各深度取 3 次重复, 之后使土柱开始 48 h 的第 1 次水分再分布过程, 此阶段是为了让上层土块进一步崩解分散。第 1 次水分再分布过程结束并取土后开始第 2 次水分入渗试验。此次灌水至土壤中的湿润锋运移到 30 cm 处停止供水; 抽干土壤表面的积水后, 开始 48 h 的第 2 次水分再分布过程(图 1)。



注: 1 为试验台; 2 为升降台; 3 为马氏瓶; 4 为进气管; 5 为橡皮塞; 6 为出水阀; 7 为出水管; 8 为取样孔; 9 为土柱。

图 1 试验装置示意

1.2.3 土块粒径筛分 扰动土的土块粒径的测量采用土壤团聚体的筛分方法。

(1)干筛法^[13]: 称取 200 g 风干土样, 将其置于孔径依次为 5, 3, 2, 1, 0.5, 0.25, 0.053 mm 的套筛上干筛, 分别称重计算出各级干筛土块占土样总质量的百分比。

(2)Yoder 湿筛法: 采用 TPF-100 型土壤团粒结构

分析仪测定, 将土样以干筛法得到的各级土块质量百分比称取 50 g, 应用孔径依次为 5, 3, 2, 1, 0.5, 0.25, 0.053 mm 的套筛, 在水中以 30 次/min 的速度振动 20 min, 40 ℃烘干称重, 计算各粒径土块所占比例。

1.3 试验方法

1.3.1 土壤入渗率 测量单位时间内通过土壤表面单位面积入渗的水量, 在 2 次入渗过程中记录马氏瓶液面刻度随时间的变化, 计算公式为:

i = (Δh d1^2) / (Δt d2^2) × 60 (1)

式中: i 为土壤入渗率(mm/h); Δh 为测量时间间隔内马氏瓶水位差(mm); Δt 为测量时间间隔(min); d1 为马氏瓶内径(cm); d2 为土柱的内径(cm)。

1.3.2 土壤全盐量 将掺沙后和 2 次水分再分布结束后的土样烘干碾碎, 按照 5 : 1 的水土比进行浸提, 采用电导率仪(雷磁 DDS-307A)测量土壤的初始电导率(EC)值和水分再分布结束后的 EC 值, 参照土壤农化分析方法^[14], 利用公式(2)计算全盐量^[15]:

y = -0.00186 + 2.74139x ≈ 2.74x (2)

式中: y 为全盐量(g/kg); x 为 EC 值(dS/m), 该式的相关系数为 0.996 7。

1.3.3 土壤脱盐率

Dr = (E0 - E1) / E0 × 100% (3)

式中: Dr 为脱盐率(%); E0 为土壤初始 EC 值(dS/m); E1 为入渗试验结束后的 EC 值(dS/m)。

2 结果与分析

2.1 掺沙对盐渍土土块粒径的影响

表 1 为第 1 次水分再分布前后各处理干湿筛法得到的 >0.25 mm 土块含量。试验前的土壤通过湿筛法得到的 >0.25 mm 土块含量仅为干筛法的 34.21%, 因此可以确定供试土壤遇水极易崩解。不同掺沙比例下, 各处理的 >0.25 mm 土块含量均表现为 CK>S1>S2。S1 和 S2 由干筛法和湿筛法得到的 >0.25 mm 土块含量, 较对照组分别降低 17.92%, 15.50% 和 51.45%, 32.00%。

表 1 第 1 次水分再分布前后干湿筛法得到的 >0.25 mm 土块含量 单位: %

处理	干筛法	湿筛法
试验前	83.16a	28.45a
CK	78.44b	25.68b
S1	64.38c	21.70c
S2	38.08d	17.46d

注: 不同字母表示各处理间差异显著(P<0.05)。下同。

2.2 掺沙对入渗历时的影响

为了探明土块大小对入渗过程的影响, 将 <0.25

mm 的土壤按照 1.2.2 中的方法装填土柱,并将不同入渗阶段湿润锋到达指定深度的入渗历时记入表 2。由表 2 可知,第 1 次入渗阶段对照组中 <0.25 mm 土壤的湿润锋到达 10 cm 的入渗历时为 5~10 mm 的 31.8%,当掺沙量为 S1 和 S2 时该比例分别为 34.7% 和 80.0%;第 2 次入渗时与第 1 次入渗呈现相同的规律,对照组中 <0.25 mm 土壤湿润锋到达 30 cm 的入渗历时为 5~10 mm 的 31.8%,即粒径 <0.25 mm 的土壤入渗历时显著低于粒径 5~10 mm 土壤的入渗历时,且入渗历时与掺沙比例成反比。

2.3 掺沙对湿润锋和累计入渗量的影响

干土积水入渗过程中,土壤剖面含水率由上到下可分为 4 个区:饱和区、过渡区、传导区和湿润区,湿润区的前沿即为湿润锋^[16]。图 2a 和图 2b 为湿润锋

在不同入渗阶段随时间的变化,2 次入渗过程中,各处理的湿润锋均在入渗初期增长速度最快,在入渗中后期增幅变缓。在同一入渗时间下,湿润锋到达相同深度所需时间随掺沙比例的增加而减少,S1、S2 掺沙后盐渍土的入渗速率明显快于 CK。

表 2 不同入渗阶段湿润锋到达指定深度入渗历时

土块大小/mm	处理	入渗历时/min	
		第 1 次	第 2 次
5~10	CK	110a	580a
	S1	75b	510b
	S2	15c	85c
<0.25	CK	35a	213a
	S1	26b	140b
	S2	12c	51c

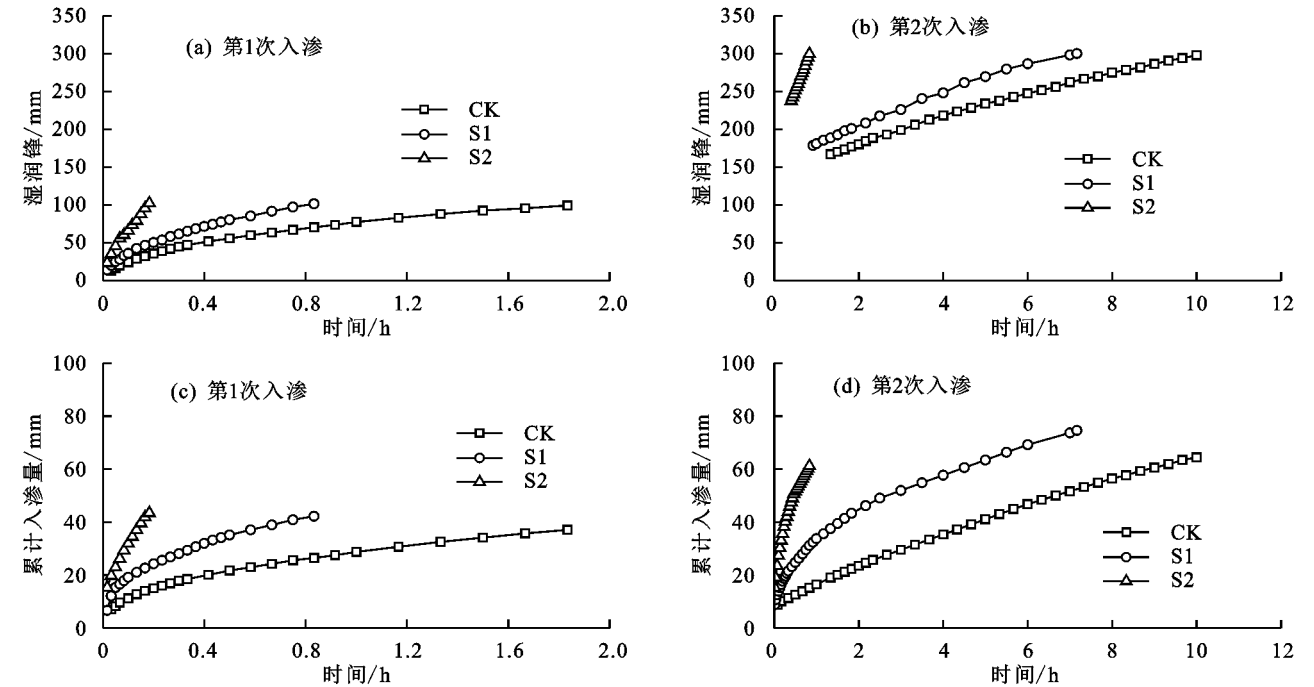


图 2 不同掺沙量下湿润锋和累计入渗量随时间变化

累计入渗量是指入渗开始后一定时间段内,通过地表单位面积入渗到土壤中的总水量^[17]。图 2c 和图 2d 表明,在同一入渗时间内,累计入渗量随掺沙比例的增加而增加。入渗初期累计入渗量增加速度最快,随着时间的延长,累计入渗量与入渗时间变化曲线的斜率减小。图 2a 和图 2c 表明,第 1 次入渗时累计入渗量与湿润锋随时间的变化规律基本一致,第 2 次入渗时由于水分需要先超出已湿润区域的位置,才能观测到湿润锋推进的过程,因此图 2b 与图 2d 具有不同的起点。

入渗结束后,土壤表面积水消失,土壤水分在水势梯度作用下,开始土壤水分再分布过程,即从土水势高的位置向土水势低的位置继续移动并重新分配。由图 3 可以看出,各处理 2 次水分再分布湿润锋推进距离大小关系均为 S2>S1>CK。与 CK 相比,

S1 和 S2 在第 1 次水分再分布和第 2 次水分再分布期间的推进距离分别提高 40.12%,82.28% 和 82.54%,259.45%,即水分再分布期间的湿润锋推进距离随掺沙比例的增加而增加。

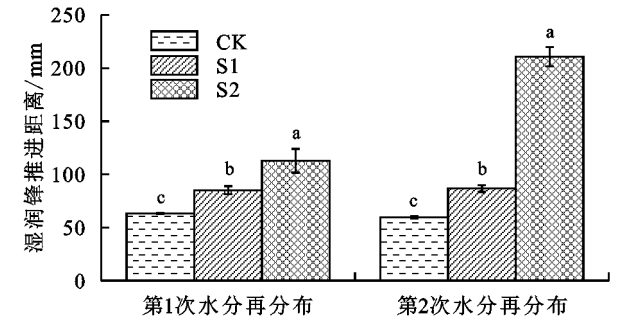


图 3 不同掺沙量下水分再分布阶段湿润锋推进距离

2.4 掺沙对入渗率的影响

土壤入渗率是入渗水流在地表处的水分通量,其

大小取决于地表处土壤水力特性^[17]。从图 4 可以看出, 2 次入渗阶段不同掺沙量下土壤入渗率随时间的变化图呈相同的变化趋势, 曲线从开始入渗后在很短时间内由陡峭变为平缓, 逐渐趋近于某一定值即稳定入渗率。同一时间土壤入渗率与掺沙比例呈正相关关系。第 1 次入渗开始 2 min 之内, CK 的初始入渗率为 76.80 mm/h, S1、S2 的初始入渗率比 CK 提高

49.84%, 160.18%。在入渗率急剧减小阶段, S1、S2 入渗率比 CK 提高 100.00%~180.00%, 200.0%~400.0%。在稳定入渗阶段入渗率提高 66.67% 和 900.00%。第 2 次入渗阶段入渗率随时间的变化曲线与第 1 次入渗阶段规律一致, 当掺沙比例为 S2 时, 入渗率变化最快, 稳定入渗率最高, 因此掺沙可以提高土壤的入渗率。

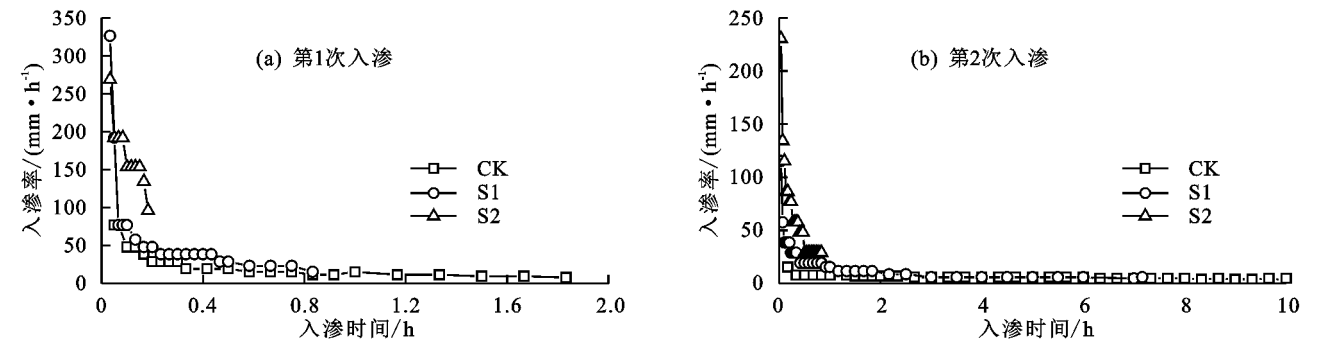


图 4 不同掺沙量下土壤入渗率随时间的变化

2.5 掺沙对电导率及脱盐率的影响

图 5 为 2 次水分再分布结束后 EC 值随土层深度的变化规律。为了直观地呈现掺沙量对土壤剖面电导率的影响, 将土壤的初始 EC 值(14.64 dS/m)与预期 EC 值^[18](4.0 dS/m)加入到图 5 中。不同处理土壤 EC 值随土层深度的变化均呈现相同的趋势, 即随土层深度的增加, EC 值先缓慢增加再迅速增

加, 且 S1 和 CK 的增加幅度显著高于 S2, 同一土层深度 EC 值大小顺序为 CK>S1>S2, 与 S2 相比, CK 和 S1 的电导率始终较高。图 5(a) 和图 5(b) 表明, S2 中 0—28 cm 土层 EC 值最先达到预期值, 而 S1 和 CK 中只有表层土壤的 EC 值在第 2 次水分再分布结束后达到预期值, 因此掺沙可以加快土壤中的盐分淋洗速率。

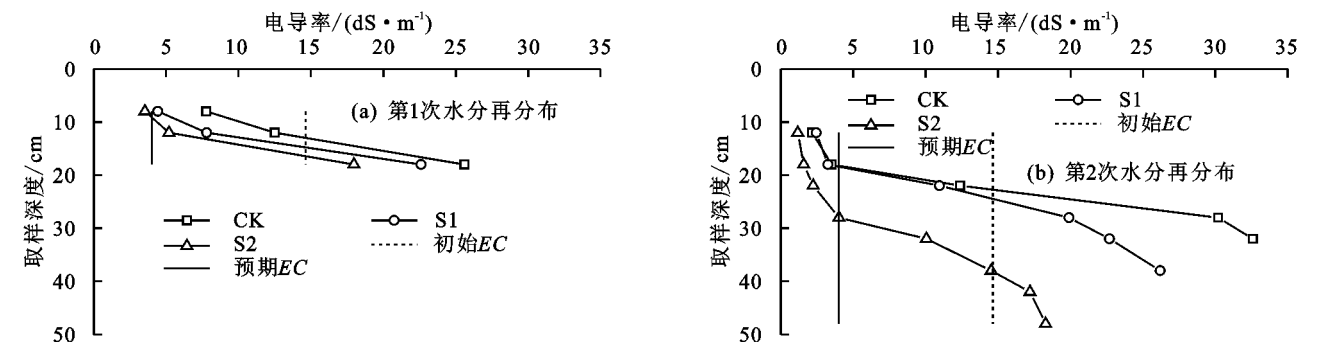


图 5 不同掺沙量下电导率随土层深度变化

第 2 次入渗结束 48 h 后土壤 D_r 计算结果见表 3。随着掺沙比例的增加, 土壤的脱盐深度显著增加, CK 脱盐深度在 22 cm 左右, S1 脱盐深度在 28 cm 左右, S2 脱盐深度显著大于其他 2 组, 在 32 cm 处仍为

脱盐状态。不同处理 D_r 均随着土层深度的增加逐渐降低, 在一定深度范围内, 掺沙越多, D_r 越高, S2 组脱盐效果最好, 说明掺沙可以显著提高上层盐渍土壤的脱盐效果。

表 3 不同掺沙量下各土层 D_r

处理(初始 EC 值)	不同土层 D_r /%							
	12 cm	18 cm	22 cm	28 cm	32 cm	38 cm	42 cm	48 cm
CK(15.64 dS/m)	82.16b	45.84c	-2.04c	-46.41b	-86.70b			
S1(12.96 dS/m)	85.18a	80.78b	56.35b	-87.5c	-96.76c	-108.33		
S2(8.00 dS/m)	86.37a	82.64a	75.48a	36.09a	12.85a	-84.30	-134.36	-141.53

3 讨论

3.1 盐渍土掺沙对土壤土块含量的影响

本研究中通过分析试验前后粒径>0.25 mm 的土块含量来确定供试土壤的稳定性类型以及土块崩

解程度。试验结果表明, 滨海盐渍土为非水稳性土块, 主要依靠物理沉积作用凝结, 遇水会崩解成细小颗粒, 稳固性极差。

为了提高洗盐效果, 必须保证水流通过土壤基质进

行入渗。本研究利用在土层表面均匀地铺设厚度为 2 mm 细沙的方法来阻隔大孔隙与地表的联通性,该方法不影响土壤基质入渗过程。入渗开始后,细沙很快达到饱和,水分通过细沙层,在土壤基质势作用下进行入渗,因此测量结果为土壤基质入渗,不包含优先流入渗,与张婧^[19]控制林地土壤基质入渗的方法一致。

随着入渗过程的持续进行,含水率增加,土壤黏聚力和内摩擦力减小,土块崩解消散的作用显著增加,大土块分散形成微土块和更细小的颗粒。研究结果显示,入渗使粒径 5~10 mm 的土块崩解成粒径 <0.25 mm 的土壤,体积变为原来的 1/8 000 以下。通过对比不同土块大小的土壤在 2 次入渗期间的入渗历时可知水分在 <0.25 mm 的土壤中的入渗速率显著快于粒径 5~10 mm 的土壤,说明在一定的粒径范围内,土壤的基质入渗速率与颗粒的粒径成反比,即土壤颗粒越小,基质入渗速率越快。在盐渍土壤中掺沙可以改善土壤质地,使土壤中的沙粒含量提高,黏粒和粉粒含量降低,在土壤充分入渗的情况下,改善土壤颗粒级配,更有利于盐渍土块的崩解。研究结果表明盐渍土掺沙主要促进粒径为 5~10 mm 的土块向 <0.25 mm 土块崩解的速度,增加土壤中的基质入渗,进而提高入渗能力,且掺沙越多入渗能力越大。

3.2 掺沙对水分入渗的影响

本研究表明,湿润峰随时间的变化不断增长,初期增速较快,中后期增速变缓,累计入渗量与湿润锋呈现一致的变化。随着土壤掺沙比例的增加,土壤的湿润峰运移速度变快,这与周利颖等^[20]研究结果相似,这是因为掺沙增加土壤砂粒含量,促进土块崩解,提高基质入渗速率,从而加快湿润峰的变化速度^[21]。水分再分布阶段土壤中的水分在水势梯度的作用下继续下渗,由于沙土田间持水量低于粉沙质壤土^[22],因此掺沙后的土壤持水性能下降,水分下渗速率变快,灌水结束后土壤湿润锋增加,48 h 后湿润锋到达的深度也越大。

研究结果显示,入渗初期表层土壤在水力梯度的作用下快速湿润,初始入渗率与掺沙量成相关关系,这是因为掺沙减少土壤结皮的形成^[13],增加过水面积,促进土壤水分快速入渗,这与白一茹等^[23]的研究结果相似;掺沙促进土块崩解的速度,使土块粒径变小,进而提高基质入渗速率,因此稳定入渗率随掺沙量的增加而增大^[24]。

3.3 掺沙对盐分运移的影响

本研究中土壤的初始 EC 值为 14.64 dS/m,经过第 2 次入渗之后,各处理 12 cm 土层 EC 值变为均小于 2.50

dS/m,根据 Munshower^[18]文中盐土($EC > 4$ dS/m)的定义表明,该试验土壤已经达到盐渍土脱盐的水平。EC 值随土层深度增加而增加,是因为由上层土壤淋洗出来的盐分在入渗过程中,随淋洗水量进入下层土壤,土壤盐分随着水分运动逐步向下运移,并累积在湿润峰附近,造成上层土壤脱盐、下层积盐的现象。本研究结果表明,随着掺沙比例的增加,上层土壤中的 EC 值明显下降,当掺沙比例达 50% 时,水分再分布结束后盐渍土 EC 值仅为初始的 7%,这与周道玮等^[25]在盐碱地中掺沙的试验结果相似。

掺沙降低土壤交换表面可及性,提高土壤的导水性,降低土壤阳离子交换量,从而使土壤盐分逐渐降低,这与 Rengasamy 等^[26]的研究结果一致。与 Shaygan 等^[27]关于掺沙对盐渍土电导率的研究不同之处在于,本研究考虑到掺沙会降低土壤的初始 EC 值这一特点,因此在进行脱盐率计算前对各处理的初始 EC 值进行重新测定。

研究结果显示,各处理的脱盐深度不断增大,出现这一规律是因为掺沙改善土壤质地与结构,土壤沙粒含量随着掺沙比例的增加而增大,粉粒和黏粒均随着掺沙比例的增加而降低,这种变化有助于减少土壤盐分的积累和增加水分在土壤中的迁移速度,因此掺沙可以增加脱盐深度,这与其他学者^[28]研究结果一致。入渗初期土壤含盐量较高,脱盐率普遍较高;入渗后期随着上层土壤盐分积累到下层,脱盐率明显降低,需要消耗更多的水量来达到洗盐效果。因此,脱盐率表现为随土层深度增加逐渐降低的趋势。

4 结论

通过室内土柱积水入渗试验,探究掺沙对黄河三角洲盐渍土壤土块及水盐运移的影响,可知黄河三角洲地区盐渍土为非水稳性土块,遇水极易崩解,基质入渗在粒径 <0.25 mm 的土壤中入渗速率显著快于粒径 <10 mm 的土壤;掺沙可以促进土块崩解,改进土壤质地,提高入渗能力。掺沙可以加快湿润锋推移速率,增加累计入渗量和稳定入渗率;掺沙后土壤交换表面可及性降低,上层土壤 EC 值降低、脱盐率提高。掺沙可以促进盐渍土块的崩解,提高入渗性能和盐分运移效率,掺沙越多,效果越好,其中掺沙率为 50% 时效果最好。由此可见,盐渍土块掺沙在短期内是降低土壤盐分和改良盐渍土的有效措施。

参考文献:

- [1] Zhang H X, Irving L J, McGill C, et al. The effects of salinity and osmotic stress on barley germination rate: Sodium as an osmotic regulator[J]. *Annals of Botany*,

- 2010, 106(6): 1027-1035.
- [2] 张宇航, 高佩玲, 张晴雯, 等. 中度盐碱土掺沙对土壤水盐运移和夏玉米生长的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(2): 83-90.
- [3] 赵宣, 韩霁昌, 王欢元, 等. 盐渍土改良技术研究进展[J]. 中国农学通报, 2016, 32(8): 113-116.
- [4] 邵雪娟. 盐碱地改良技术研究综述[J]. 种子科技, 2021, 39(6): 71-72.
- [5] 王健, 李傲瑞. 我国盐碱地改良技术综述[J]. 现代农业科技, 2019(21): 182-183, 185.
- [6] 蔺亚莉, 李跃进, 陈玉海, 等. 碱化盐土掺砂对土壤理化性状和玉米产量影响的研究[J]. 中国土壤与肥料, 2016(1): 119-123.
- [7] 刘旋旋, 董晓华, 郭梁锋, 等. 非充分供水表层掺砂土壤水分入渗及再分布试验研究[J]. 节水灌溉, 2018(12): 24-28, 32.
- [8] Mandal U K, Rao K V, Mishra P K, et al. Soil infiltration, runoff and sediment yield from a shallow soil with varied stone cover and intensity of rain[J]. European Journal of Soil Science, 2005, 56(4): 435-443.
- [9] Germann P F, Beven K. Kinematic wave approximation to infiltration into soils with sorbing macropores[J]. Water Resources Research, 1985, 21(7): 990-996.
- [10] 黄永超. 紫色土区不同土地利用类型土壤入渗研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- [11] 朱庭芸, 何守成. 滨海盐渍土的改良和利用[M]. 北京: 农业出版社, 1985.
- [12] 杨晓华, 张莎莎, 刘伟, 等. 粗颗粒盐渍土工程特性研究进展[J]. 交通运输工程学报, 2020, 20(5): 22-40.
- [13] 范云涛, 雷廷武, 蔡强国. 湿润速度对土壤表面强度和土壤团聚体结构的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 46-50.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [15] Liu C X, Li K S, Ma D P, et al. Construction and engineering application of salt-discharging model for local saline-alkali soil with compact structure in the Yellow River Delta[J]. Applied and Environmental Soil Science, 2020(s2): 1-8. DOI: 10.1155/2020/2906747.
- [16] 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988.
- [17] 王乃江, 高佩玲, 赵连东, 等. 咸淡水分配比例对盐碱土壤水分入渗特征与脱盐效果的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(6): 100-105.
- [18] Munshower F F. Acid producing metalliferous waste reclamation by material reprocessing and vegetative stabilization[R]. Manhattan: Hazardous Substance Research Center, Kansas State University, 1995.
- [19] 张婧. 土壤入渗与优先流测量方法研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- [20] 周利颖, 李瑞平, 苗庆丰, 等. 河套灌区不同掺沙量对重度盐碱土壤水盐运移的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(10): 116-123.
- [21] 黄锦文, 唐莉娜, 曾文龙, 等. 不同土壤处理对烤烟根际土壤生物学特性的影响[J]. 中国烟草学报, 2016, 22(2): 75-83.
- [22] 蔡庆生. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011.
- [23] 白一茹, 赵云鹏, 王幼奇, 等. 宁夏砂田不同砾石覆盖厚度土壤入渗过程及模型分析[J]. 水土保持学报, 2017, 31(4): 81-85.
- [24] 迟春明, 王志春. 碱化盐土饱和导水率特征与影响因素研究[J]. 土壤通报, 2014, 45(3): 601-607.
- [25] 周道玮, 田雨, 王敏玲, 等. 覆沙改良科尔沁沙地—松辽平原交错区盐碱地与造田技术研究[J]. 自然资源学报, 2011, 26(6): 910-918.
- [26] Rengasamy P, Olsson K A. Sodicity and soil structure[J]. Soil Research, 1991, 29: 935-952.
- [27] Shaygan M, Reading L P, Baumgartl T. Effect of physical amendments on salt leaching characteristics for reclamation[J]. Geoderma, 2017, 292: 96-110.
- [28] 潘旭东, 塔伊尔, 贾俊平, 等. 复垦盐渍化弃耕地客土改良初探[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(25): 13754-13755, 13779.