

# 初始含水量对盐碱土饱和导水能力和盐分淋洗的影响

尹勤瑞<sup>1</sup>, 张兴昌<sup>1,2,3</sup>, 王丹丹<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 为了探究初始含水量对盐碱土饱和导水能力和盐分淋洗的影响, 采用室内模拟试验, 进行了 6 个不同初始含水量的定水头饱和导水能力试验。结果表明, 盐碱土饱和导水率随初始含水量的增加而减小, 二者呈显著的线性负相关; 随初始含水量的增加, 淋洗液 pH 值降低, 电导率升高; 随盐碱土饱和导水率的增大, 淋洗液 pH 值升高, 电导率降低, 二者均与饱和导水率间呈对数关系。长期淹水状态下, 盐碱土饱和导水能力平稳降低, 盐分淋洗效果也变差。

**关键词:** 初始含水量; 饱和导水率; 淋洗液; pH 值; 电导率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)03-0071-04

中图分类号: S151.9, S156.4

## Effect of Initial Water Content on Saturated Hydraulic Conductivity and Salt Leaching of Alkaline Soil

YIN Qin-rui<sup>1</sup>, ZHANG Xing-chang<sup>1,2,3</sup>, WANG Dan-dan<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The effect of initial water content on saturated hydraulic conductivity(KS10) and salt leaching of alkaline soil was researched using column leaching experiments in laboratory. Saturated hydraulic conductivity was measured at six different initial water contents. The results indicated that saturated hydraulic conductivity decreased with an increase in initial water content, showing a significant negative linear correlation. With an increase in initial water contents, the pH value decreased while electrical conductivity(EC) increased. The pH value in leachate increased but the EC decreased as the KS10 increased, both following logarithmic functions. In addition, the saturated hydraulic conductivity of alkaline soil and salt leaching efficiency decreased slowly in the condition of prolonged immersion.

**Keywords:** initial water content; saturated conductivity; salt leachate; pH value; electrical conductivity

土壤饱和导水率是重要的土壤物理性质之一, 是估计土壤非饱和导水率, 计算土壤剖面水通量的重要参数<sup>[1]</sup>, 它是表征土壤入渗能力、评价土壤渗透水性能好坏的重要指标。土壤饱和导水率受自身理化性质影响, 已有研究<sup>[2-6]</sup>更多关注土壤自身理化性质包括容重、孔隙度、结构、土壤有机质含量和盐分含量等因素。饱和导水率低是盐碱土标志性特征之一<sup>[7]</sup>, 由于大量的 Na<sup>+</sup> 的存在使土壤黏粒遇水高度分散, 堵塞土壤孔隙, 导致土壤导水率下降<sup>[8-9]</sup>。盐碱土中的盐分和土壤胶体之间的作用会导致土壤结构的变化, 影响土壤入渗和导水能力。土壤初始含水量是影响

土壤入渗特征的重要因素之一, 不同的初始含水量会影响土壤溶液和胶体颗粒上吸附的离子数量, 进而对土壤入渗特征产生影响<sup>[10]</sup>。对于初始含水量对盐碱土饱和导水能力的影响, 目前仍缺乏研究, 因此有必要进行该方面的分析研究, 以期完善盐碱土饱和导水能力及盐分淋洗过程的理论基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试土壤

供试土壤采自陕西省榆林地区定边县, 地理坐标为 37°30′28.4″ N, 108°04′11.8″ E, 采集 0—20 cm 表

收稿日期: 2010-09-27

修回日期: 2010-11-08

资助项目: “973” 国家重点基础研究发展规划项目“生源要素的生物地球化学过程及其区域响应”(2007CB106803); 西北农林科技大学科研创新团队支持计划项目; “十一五” 科技支撑计划“黄土高原水土流失综合治理工程关键支撑技术研究”(2006BA D09B06)

作者简介: 尹勤瑞(1985—), 女(汉族), 山西省朔州市人, 硕士研究生, 研究方向为土壤水动力学及盐碱土改良。E-mail: yqrforever@163.com。

通信作者: 张兴昌(1965—), 男(汉族), 陕西省武功县人, 博士, 研究员, 主要从事土壤环境化学方面的研究。E-mail: zhangxc@ms.iswc.ac.cn。

层土壤带回室内,自然风干,过 1 mm 筛,利用 MSN-2000 激光粒度仪测定土壤颗粒组成,根据国际土壤

颗粒质地分类标准,供试土样为砂质壤土。供试土样的基本性质测定结果见表 1。

表 1 供试土壤的基本性质

颗粒组成/%			有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	风干含水率/ %	pH 值	<i>E<sub>c</sub></i> / (mS·cm <sup>-1</sup> )
< 0.002 mm	0.02~ 0.002 mm	2~ 0.02 mm				
12.557	21.512	65.931	23.460	1.620	9.140	16.370

## 1.2 饱和导水率的测定

将风干过筛后的土样,按照设计的初始含水量 1.6%、5.5%、7.5%、10.0%、12.5%、15.5% 配制土样,分别按容重为 1.25 g/cm<sup>3</sup> 分层均匀装入自制的内径 6 cm,高 15 cm 的有机玻璃管内,装土高度为 5 cm。采用恒定水头法测定土壤饱和导水率。土样浸泡于水位略低于土样表面的蒸馏水中,经 24 h 饱和后,马氏瓶供水,测定饱和导水率,并收集同时间段内的淋洗液。

饱和导水率采用达西定律计算:

$$K_s = \frac{QL}{AtH} \quad (1)$$

公式:  $K_s$  ——饱和导水率 (cm/h);  $Q$  ——渗透量 (ml);  $L$  ——土样高度 (cm);  $A$  ——渗透横截面积 (cm<sup>2</sup>);  $t$  ——渗透时间(h);  $H$  ——水头高度(cm)。

为了将不同温度下测定结果进行比较,通常将测定的饱和导水率换算成 10 °C 下的饱和导水率,换算采用哈赞公式:

$$K_{s10} = \frac{K_s}{0.7 + 0.03T} \quad (2)$$

公式:  $K_s$  ——某温度下的土壤饱和导水率 (cm/h);  $K_{s10}$  ——10 °C 时的土壤饱和导水率;  $T$  ——实测水温 (°C)。

## 1.3 淋洗液 pH 值和电导率的测定

淋洗液 pH 值采用 UB-7 型 pH 计测定,电导率采用 DDS-11A 型电导率仪测定。

## 1.4 数据分析

试验数据采用 SPSS 13.0 进行统计分析,采用 Excel 进行回归拟合。

# 2 结果与分析

## 2.1 初始含水量对盐碱土饱和导水能力的影响

为了对比分析初始含水量对盐碱土饱和导水能力的影响,室内进行了 6 个不同初始含水量的定水头土壤饱和导水能力的试验研究。图 1 表明,土壤容重为 1.25 g/cm<sup>3</sup> 时,随着盐碱土初始含水量的增加,饱和导水能力减小。初始含水量影响土壤中盐离子与土壤胶体颗粒之间的作用,进而导致土壤孔隙特征

的改变<sup>[10]</sup>。可能是由于较高的土壤初始含水量了增强土壤胶体颗粒的分散和膨胀,使得土壤孔隙堵塞,引起导水能力的减小。

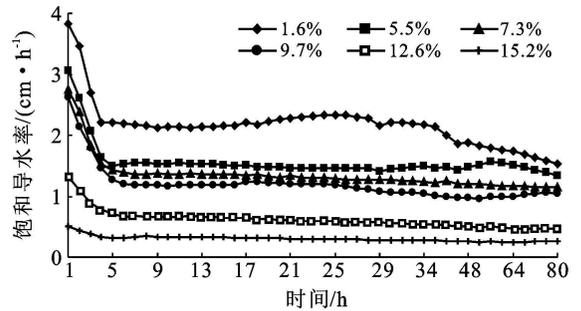


图 1 不同初始含水量对盐碱土饱和导水能力的影响

由图 1 可知,低含水量段(1.6%~9.7%)下,盐碱土饱和导水能力随供水时间的增加明显呈 3 个阶段的变化趋势,在试验进行 7 h 趋于稳定,16 h 开始波动,46 h 开始发生明显变化。随着初始含水量的增加,土壤饱和导水率的波动趋于平缓。盐碱土中由于大量钠离子的存在,水稳性团聚体遭到破坏,黏粒高度分散,土壤孔隙堵塞,致使土壤饱和导水率低下<sup>[8]</sup>。长时间处于饱和状态的盐碱土,导致土壤孔隙堵塞,饱和导水率随供水时间增加而降低;初始含水量越大,土壤黏粒分散度越高,土壤孔隙越小,土壤长时间处于饱和状态下,土壤结构变化更小,导水能力更稳定。

对 6 个不同初始含水量土样的饱和导水能力进行比较分析(表 2),结果发现初始含水量对盐碱土饱和导水能力有显著影响。

表 2 初始含水量对盐碱土饱和导水能力的影响

初始含水量/%	饱和导水率/(cm·h <sup>-1</sup> )
1.6	2.17±0.40a
5.5	1.56±0.30b
7.3	1.36±0.29c
9.7	1.20±0.30d
12.6	0.62±0.16e
15.2	0.30±0.05f

注: 同列不同小写字母表示处理间差异显著( $\alpha=0.05$ )。下同。

通过连续 80 h 的实时测定, 选取稳定时间段 7~16 h 饱和导水率, 分析初始含水量对饱和导水率的影响, 结果如图 2 所示。随着盐碱土初始含水量的增加, 饱和导水率降低, 呈显著的线性负相关关系:

$$K_s = -12.998\omega + 2.3291 \quad (R^2 = 0.9902) \quad (3)$$

式中:  $\omega$ ——初始含水量(%)。

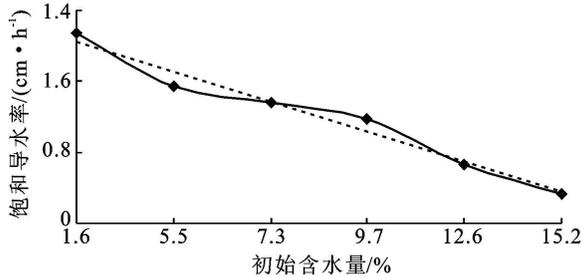


图 2 初始含水量对饱和导水率的影响

## 2.2 初始含水量对淋洗过程的影响

初始含水量对淋洗过程的影响, 主要通过淋洗液

表 3 初始含水量对盐碱土淋洗液的 pH 值影响( $\alpha = 0.05$ )

初始含水量	1.6%	5.5%	7.3%	9.7%	12.6%	15.2%
淋洗液 pH 值	9.75±0.18a	9.64±0.18b	9.60±0.19b	9.55±0.20b	9.42±0.18c	9.28±0.16d
淋洗液电导率	0.251±0.031a	0.272±0.031a	0.278±0.032a	0.285±0.035a	0.550±0.157b	0.785±0.281c

淋洗液 pH 值可在一定程度上动态地反映土壤的淋洗效果, 淋洗液 pH 值越大, 表明该时间单元内土壤淋洗效果越好。初始含水量对淋洗过程中的淋洗液 pH 值的影响结果如图 3 所示。随初始含水量

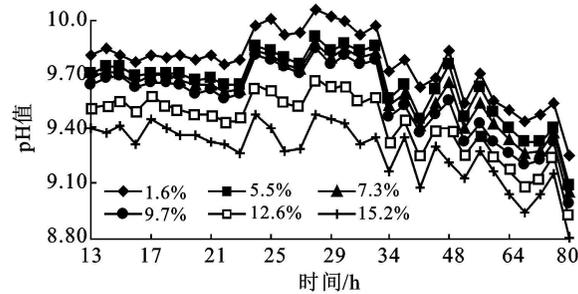


图 3 初始含水量对淋洗液 pH 值的影响

在一定浓度范围内, 溶液的含盐量与电导率呈正相关。淋洗液电导率可以反映土壤的淋洗效果, 淋洗过程稳定后, 淋洗液电导率越小, 表明先前淋洗盐分越多, 盐分淋洗达平衡历时越短。初始含水量对淋洗过程中的淋洗液电导率的影响结果如图 4 所示。随盐碱土初始含水量的增加, 淋洗液电导率升高, 且在高初始含水量段影响作用较大。这表明初始含水量越大, 土壤淋洗效果越差。

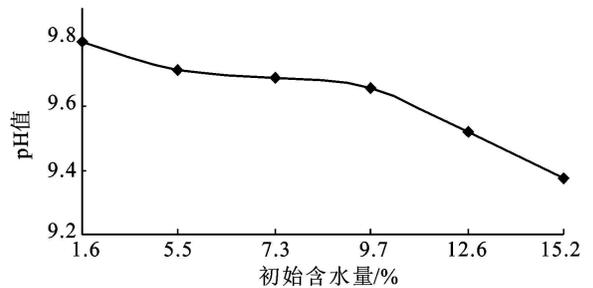
## 2.3 饱和导水率与淋洗液 pH 值和电导率的关系

将饱和导水能力和淋洗液 pH 值及电导率随供

的 pH 值和电导率来表征。通过对淋洗液 pH 值和电导率的测定发现, 盐碱土淋洗过程淋洗液 pH 值和电导率的变化趋势明显分为 3 个阶段。第 1 阶段 1~13 h, 淋洗液 pH 值和电导率变化很大, 不同初始含水量对其的影响呈现不同的趋势; 第 2 阶段 13~23 h, 淋洗液 pH 值和电导率处于稳定阶段, 随初始含水量的增加, 淋洗液 pH 值降低, 电导率升高; 第 3 阶段 23~80 h, 淋洗液 pH 值和电导率明显波动, 并随供水时间的增加总体呈降低趋势。

对 6 个不同初始含水量土样淋洗液 pH 值和电导率进行比较分析(表 3), 发现淋洗液 pH 值在初始含水量为 5.5%, 7.3% 和 9.7% 时处理之间差异不显著, 但均与其它处理差异显著且其它处理间差异显著; 淋洗液电导率在初始含水量为 1.6%, 5.5%, 7.3% 和 9.7% 时处理之间差异不显著, 但均与其它处理差异显著且其它处理间差异显著。

的增加, 淋洗液 pH 值总体呈降低的趋势, 初始含水量为 5.5%~9.7% 之间时, 趋势较为平缓, 即初始含水量对淋洗液 pH 值的降低作用较小。这表明初始含水量越大, 土壤淋洗效果越差。



水时间的变化过程对应分析可知, 淋洗液 pH 值和电导率的稳定、波动阶段相对于饱和导水能力均滞后, 且稳定、波动持续时间相当, 表明淋洗液 pH 值和电导率与饱和导水率具有一定的相关性。选定稳定阶段 13~16 h 分析其相关关系如图 5 所示。

随着盐碱土饱和导水率的增大, 淋洗液 pH 值升高, 电导率降低。根据曲线形状, 可以进行对数方程拟合:

淋洗液 pH 值与饱和导水率的曲线方程为:

$$\text{pH} = 0.2259 \ln K_s + 9.6161 \quad (R^2 = 0.9991) \quad (4)$$

淋洗液电导率与饱和导水率的曲线方程为:

$$E_c = -0.5918 \ln K_s + 0.5984 \quad (R^2 = 0.9314) \quad (5)$$

式中:  $E_c$  —— 淋洗液电导率 ( $\text{mS}/\text{cm}$ )。

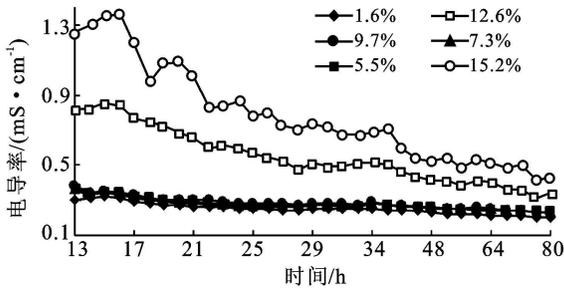


图 4 不同初始含水量对淋洗液电导率的影响

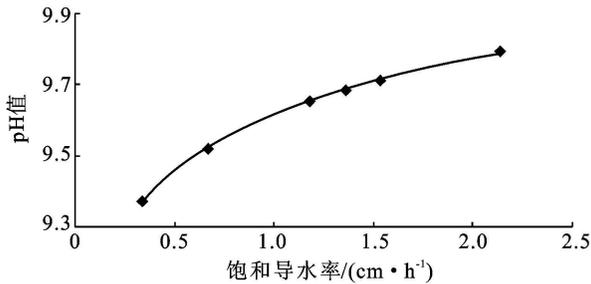
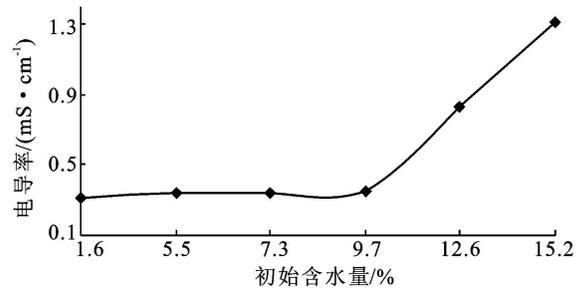


图 5 不同饱和导水率与淋洗液 pH 值和电导率的关系

### 3 结论

本文采用室内模拟试验,进行了 6 个不同初始含水量的盐碱土定水头饱和导水能力试验以及淋洗液 pH 值、电导率的测定分析。

随初始含水量的增加,盐碱土饱和导水能力减弱,淋洗效果变差。在定水头饱和导水淋洗阶段,初始含水量对盐碱土饱和导水能力和淋洗液 pH 值、电导率均有影响。盐碱土饱和导水率随初始含水量的增加而减小,二者呈显著的线性负相关。随初始含水量的增加,淋洗液 pH 值降低,电导率升高,这种影响在低含水量段作用不明显。淋洗过程中,淋洗液 pH 值和电导率与盐碱土饱和导水率呈显著的对数关系,淋洗液 pH 值随饱和导水率的增大而升高,电导率随饱和导水率的增大而降低。

定水头土壤饱和导水能力的试验结果还表明,长期淹水状态下,盐碱土饱和导水能力和淋洗液 pH 值、电导率均呈总体降低趋于稳定的变化过程,同时盐碱土盐分淋洗效果也趋于稳定。因此,对盐碱土的改良一方面可通过合理灌溉,防止大水漫灌,同时加强排水等措施实现,另一方面应采取其它可行性措施提高盐碱土的饱和导水率,从而促进盐分淋洗,达到对盐碱土改良的目的。

式(4),(5)表明盐碱土淋洗过程与饱和导水率密切相关。淋洗过程中淋洗液 pH 值越大,电导率越小,其饱和导水能力越强,盐分淋洗效果越好。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Fares A, Alva A K, Kedi-Kizza P N, et al. Estimation of soil hydraulic properties of a sandy soil using capacitance probes and Guelph permeameter [J]. Soil Sci., 2000, 165(10): 768-777.
- [2] 陈效民, 茆泽圣, 刘兆普, 等. 大风王港试验站滨海盐渍土饱和导水率的初步研究 [J]. 南京农业大学学报, 1994, 17(4): 134-137.
- [3] 秦耀东, 胡克林. 大孔隙对农田耕作层饱和导水率的影响 [J]. 水科学进展, 1998, 9(2): 107-111.
- [4] 吕殿青, 邵明安, 刘春平. 容重对土壤饱和和水分运动参数的影响 [J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 154-157.
- [5] 胡伟, 邵明安, 王全九, 等. 取样尺寸对土壤饱和导水率测定结果的影响 [J]. 土壤学报, 2005, 42(6): 1041-1044.
- [6] 白冰, 陈效民, 秦淑平. 黄河三角洲滨海盐渍土饱和导水率的研究 [J]. 土壤通报, 2005, 36(3): 321-323.
- [7] United States Salinity Laboratory Staff. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils [M]. Riverside, CA., 1954: 83-126.
- [8] Le Bissonnals Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. theory and methodology [J]. Eur. Soil Sci., 1996, 47: 425-437.
- [9] Bauder J W, Brock T A. Irrigation water quality, soil amendment, and crop effects on sodium leaching [J]. Arid Land Research and Management, 2001, 15: 101-113.
- [10] 王全九, 叶海燕, 史晓南, 等. 土壤初始含水量对微咸水入渗特征影响 [J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 51-53.