

土壤盐分对土壤水分扩散率的影响

甘永德^{1,3}, 胡顺军^{1,2}, 陈秀龙^{1,3}

(1. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院 绿洲生态与荒漠环境重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 土壤水分扩散率是土壤水盐运动的重要参数之一。利用水平土柱吸渗法对不同含盐量土壤的水分扩散率与含水量之间的关系进行了测定, 并建立了土壤水分扩散率、土壤含水量与 Boltzmann 参数间的定量关系。结果表明, 不同含盐量土壤之间的水分扩散率存在明显差异, 表现在相同土壤含水量情况下, 土壤水分扩散率随土壤含盐量的增大而增大; 土壤水分扩散率随土壤含水量增大而单调增大, 且当含水量接近饱和时, 土壤水分扩散率接近无穷, 通过建立含水量与土壤水分扩散率的经验函数关系能较好地反映了土壤含水率与土壤水分扩散率间的关系。

关键词: 土壤含盐量; 土壤水分扩散率; 水平土柱法

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)06-0056-04

中图分类号: S152.7

Influence of Soil Salt Content on Soil Water Diffusivity

GAN Yong-de^{1,3}, HU Shun-jun^{1,2}, CHEN Xiu-long^{1,3}

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi,

Xinjiang 830011, China; 2. Key Laboratory of Oasis Ecology and Desert Environment, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 3. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Soil water diffusivity is a significant parameter for water and salt transport in saline soil. Horizontal soil column method is used to study the relationship between soil water diffusivity and soil water content in different saline soils. The relationships among soil water diffusivity, soil water content, and Boltzmann parameter are determined. Soils with different salt contents are found to have different soil water diffusivities. Soil water diffusivity increases with increased salt content under the same condition of soil water content. Soil water diffusivity increases with increasing soil water content as well. When soil tends to be saturated, soil water diffusivity approaches infinity. The empirical relationship presented in the paper may better reflect the relationship between unsaturated soil water diffusivity and soil water content.

Keywords: soil salt content; soil water diffusivity; horizontal soil column method

土壤水分扩散率是表征土壤水动力学的重要参数之一, 是研究土壤非饱和导水率的重要参数, 它反映了土壤的空隙状况及导水性能, 并影响土壤中水分运动状况^[1,2]。因此, 土壤水分扩散率具有重要的研究意义。长期以来, 有很多学者对此进行了研究。早在 1956 年 Bruce 和 Klute^[3] 就提出了用水平入渗试验计算土壤水分扩散率。Kirkham 和 Powers^[4] 详细论述了这种方法的应用。Clothier^[5] 等采用土壤水分分布函数导出了扩散函数。邵明安等^[6] 使用了普遍相似理论, 然后用 Brooks 和 Corey 的扩散率函数计算土壤水分扩散率。尽管以上计算水分扩散率的方

法各不相同, 也各有优缺点, 但常用的还是 Bruce 和 Klute 提出的方法^[6,12]。本研究通过建立 Boltzmann 变换参数 λ 与土壤含水率 θ 定量函数关系的基础上, 采用与 Bruce 和 Klute 的方法相似的过程研究了含盐土土壤水分扩散率, 揭示了土壤盐分对土壤水分扩散率的影响。

1 试验地概况

试验于 2009 年 11 月在中国科学院阿克苏绿洲农田生态系统国家野外站进行。该站位于塔里木河 3 大源流——阿克苏河、叶尔羌河、和田河交汇处附

收稿日期: 2010-01-31

修回日期: 2010-05-31

资助项目: 中国科学院“西部之光”人才计划项目(联合学者); 国家自然科学基金项目(40471020); 新疆维吾尔自治区科技攻关重大专项(20073117-3); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-XB2-03)

作者简介: 甘永德(1985—), 男(汉族), 青海省民和县人, 硕士研究生, 从事土壤水盐运移方面的研究。E-mail: gydyjq111@yahoo.com.cn.

近的冲积平原。所在区域是塔里木盆地荒漠背景条件下分布的新型绿洲,地势平坦。地理坐标为东经 $80^{\circ}51'$,北纬 $40^{\circ}37'$;海拔高程1 028 m。属暖温带内陆型气候,多年平均降水量45.7 mm,水面蒸发量2 270.5 mm(直径20 cm蒸发皿观测值),年日照时数2 950 h,无霜期207 d。地下潜水位埋深变化在0.5~4.0 m之间,土壤盐渍化非常普遍,土壤为盐化荒漠土;试验用土取自试验站大田,为盐渍化比较严重的沙壤土

2 试验材料与方法

2.1 试验原理

为了消除重力的影响,试验过程采用水平土柱进行,该测定过程要求土柱的土壤质地均一,且初始含水率均一,土柱进水端水位恒定,压力为零。使得土柱水分运动成为在土壤基质吸力下进行的一维水分吸渗运动。其方程和定解条件为:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right]$$

$$\theta = \theta_0, x > 0, t = 0; \theta = \theta_i, x = 0, t > 0 \quad (1)$$

式中: θ_0 ——初始含水量(cm^3/cm^3); θ_i ——水槽端含水量,接近饱和(cm^3/cm^3); x ——水平距离(cm); t ——时间(min); $D(\theta)$ ——土壤水分扩散率(cm^2/min)。

通过公式(1)进行 Boltzmann 变换,可以转换为常微分方程求解,得出:

$$D(\theta) = - \frac{1}{2(d\theta/d\lambda)} \int_{\theta_0}^{\theta_i} \lambda d\theta \quad (2)$$

式中: $\lambda = xt^{-1/2}$ 为变换参数。

对公式(2)采用差分形式表达:

$$D(\theta) = \frac{1}{2} \frac{\Delta \lambda}{\Delta \theta} \sum \lambda \Delta \theta \quad (3)$$

进行水平土柱吸渗试验时,在 t 时刻测出土柱的含水率分布,并计算出各 x 点的 λ 值,建立 λ 与土壤含水率 θ 的关系 $\lambda = f(\theta)$,再利用(3)式就可以计算土壤水扩散率。

2.2 材料与方法

在试验样地选两点土质相似,但盐分差别大的地点采集土样,按不同比例将土壤均匀混合成不同盐分含量的土壤,然后经风干,过2 mm筛,采用烘干法测定初始含水量,利用吸管法测定土壤机械组成,混合后的土壤理化性质及土壤机械组成(表1—2)。试验开始时,按一定土壤容重将土壤均匀装入水平槽中(图1)。为了保证水头恒定,供水段用马氏瓶供水。试验开始后,按湿润峰每前进1 cm记录湿润峰和相应时间,待试验进行约730 min,记录时间和湿润峰,并停止供水,排干水室水分,结束试验。同时,迅速开始从后面湿润峰处向前按一定间隔取土,用烘干法测定不同距离处的土壤含水量。

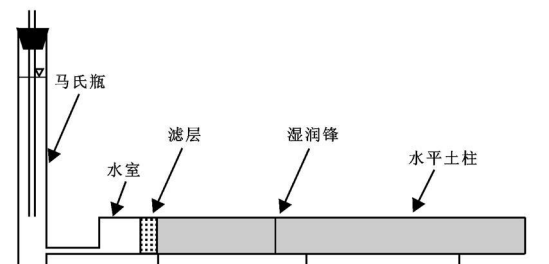


图1 土壤水分扩散率试验装置

表1 试验土样化学性质

处理编号	pH 值	全盐/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	HCO_3^- / ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	Cl^- / ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	SO_4^{2-} / ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	Ca^{2+} / ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	Mg^{2+} / ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	K^+ / ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	Na^+ / ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	SAR
1	7.39	40.16	0.22	13.21	12.87	3.13	0.55	0.21	9.97	9.67
2	7.60	34.11	0.25	9.41	12.87	3.58	0.27	0.22	7.52	7.29
3	7.54	26.26	0.39	5.53	12.34	2.91	1.36	0.18	3.56	3.05

表2 试验土样粒级组成及物理性质

处理编号	各粒级含量/%			土壤种类	干容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	饱和体积 含水量	初始体积 含水量
	砂粒 (2~0.02 mm)	粉粒 (0.02~0.002 mm)	黏粒 (<0.002 mm)				
1	52	42	7	粉砂壤土	1.47	0.47	0.022
2	49	45	7	粉砂壤土	1.49	0.54	0.035
3	51	42	7	粉砂壤土	1.39	0.48	0.037

3 结果分析

3.1 Boltzmann 变换参数 λ 与土壤含水率 θ 的关系

根据计算土柱不同长度处 Boltzmann 变换的参数 λ , 然后将其对应的含水率(θ 值)点绘 $\lambda-\theta$ 曲线(图 2), 经拟合得:

$$\lambda = S \left[1 - \left(\frac{\theta}{\theta_s} \right)^a \right]^b \quad (4)$$

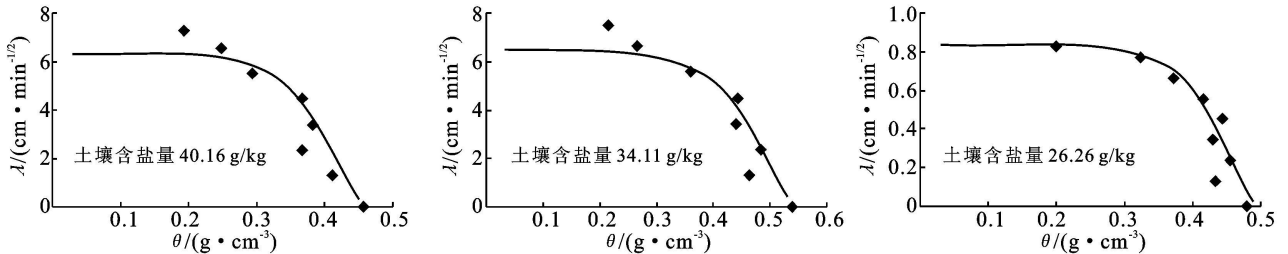
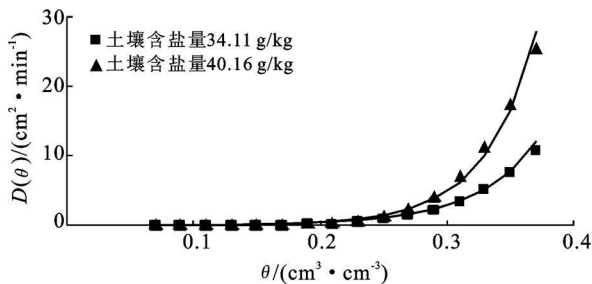


图 2 不同含盐量处理的 Boltzmann 变换参数(λ)与土壤含水率(θ)的关系($\lambda-\theta$)

图 2 是本试验 3 种不同盐分含量土壤的 Boltzmann 变换参数 $\lambda-\theta$ 的关系曲线, 可以看出, 随着土壤含水量的增大 Boltzmann 变换参数单调减小, 从变化的趋势来看, 3 个土样的变化几乎相当, 都是当土壤含水量小于 0.30 时, Boltzmann 变换参数变化缓慢, 当大于 0.30 时, 变化迅速, 并很快接近于零。

3.2 土壤水分扩散率 $D(\theta)$ 与土壤含水量间的关系

根据计算拟合 $\theta-\lambda$ 关系式, 可以用(3)式可以求



出不同含水量条件下各土样的土壤水分扩散率 $D(\theta)$ 的值(图 3), 经拟合得:

$$D(\theta) = \left[\frac{\alpha}{(\theta - \theta_s)^\beta} \right] \cdot \left(\frac{\theta - \theta_s}{\theta_s - \theta} \right)^L \quad (5)$$

式中: α, L, β ——大于零的待定参数, 见表 4; θ_s ——饱和含水量 (cm^3/cm^3); θ ——初始含水量 (cm^3/cm^3)。

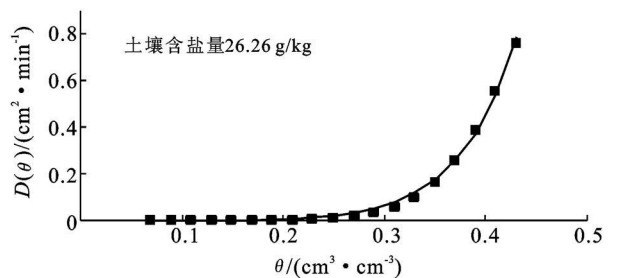


图 3 不同处理的土壤水分扩散率 [$D(\theta)$] 与土壤含水量的关系 [$D(\theta)-\theta$]

表 4 3 种处理公式(5)中的参数

处理编号	α	β	L
1	2.80	1.47	4.30
2	1.60	1.40	2.99
3	0.25	0.46	5.00

图 3 是本试验 3 种含盐量不同土壤 $D(\theta)-\theta$ 关系曲线。可以看出, 土壤水分扩散率随土壤含水量的增加, 土壤水分扩散率单调增大。当土壤体积含水量小于 0.26 时, 土壤水分扩散率增加缓慢, 当土壤体积含水量大于 0.26 时, 土壤水分扩散率迅速增大, 理论上当土壤接近饱和时, 土壤水分扩散率会接近无穷。

公式(4)中相关待定参数 S, a 和 b 详见表 3。

表 3 3 种处理公式(4)中的相关参数

处理编号	S	a	b
1	6.348	7.348	2.312
2	6.481	6.229	1.382
3	0.837	8.155	1.881

本研究建立的拟合公式, 可以很好地拟合土壤水分扩散率与土壤含水量间的关系, 当含水量接近饱和时, 土壤水分扩散率趋于无穷大。

3.3 土壤水分扩散率 $D(\theta)$ 与土壤含盐量的关系

从图 3 可以看出, 相同土壤含水量情况下, 土壤含盐量为 40.16 g/kg 的土壤水分扩散率最大, 34.11 g/kg 次之, 26.26 g/kg 最小, 这说明相同土壤含水量情况下, 土壤水分扩散率随土壤含盐量的增大相应增大。通过对钠吸附比(表 1)与土壤水分扩散率相应关系分析可知, 相同土壤含水量情况下, 土壤水分扩散率随土壤钠吸附比的增大相应增大; 各离子含量

(表1)与土壤水分扩散率的关系为:在相同土壤含水量条件下,土壤水分扩散率随 Cl^- , Na^+ 离子含量的增大而增大。

4 结论

(1) 土壤水分扩散率随土壤含水量的增大呈现单调增加。

(2) 幂函数和指数函数不能从理论上很好拟合两者之间的关系,本研究公式可以很好地拟合两者的关系,当含水量接近饱和时,水分扩散率趋于无穷。

(3) 土壤盐分对土壤入渗特性的影响主要表现为:随着土壤含盐量的增加和钠吸附比的增大,相应的土壤水分扩散率也呈增加趋势。

[参 考 文 献]

- [1] 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; 231-236.
- [2] 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. 水平土柱入渗法测定土壤导水率[J]. 水利学报, 1991; 22(5): 1-7.
- [3] Bruce R R, Klute A. The measurement of soil moisture diffusivity[J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1956 20: 458-462.
- [4] Kirkham D, Powers W L. Advanced soil physics[M]. New York: Wiley-Interscience, 1972; 256-264.
- [5] Clothier B E, Scotter D R, Green A E. Diffusivity and one-dimensional absorption experiments [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1983, 47: 641-644.
- [6] Shao M A, Horton R. Soil water diffusivity determination by general similarity theory[J]. Soil Sci., 1996, 161: 727-734.
- [7] 刘新平, 张铜会, 何玉惠, 等. 不同粒径沙土水分扩散率[J]. 干旱区地理, 2008 31(2): 249-253.
- [8] 宋新山, 何岩, 邓伟. 松嫩平原盐碱土水分扩散率研究[J]. 土壤与环境, 2000, 9(3): 210-213.
- [9] 肖干明, 王延松, 张王龙, 等. 棕壤和草甸土水分扩散率的研究[J]. 土壤, 1995, 27(6): 301-303, 310.
- [10] 朱首军, 丁艳芳. 渭北旱塬农林复合生态系统土壤水分扩散率研究[J]. 水土保持通报, 1999, 19(3): 26-28.
- [11] 宋新山, 何岩, 邓伟. 松嫩平原盐碱土水分扩散率研究[J]. 土壤与环境, 2000, 9(3): 210-213.
- [12] 魏飒, 任树梅. 承德围场地区土壤水分扩散率的研究[J]. 中国农村水利水电, 2007(1): 55-56, 61.

(上接第55页)

[参 考 文 献]

- [1] Keefer D V. Landslides caused by earthquakes[J]. Geological Society of America Bulletin, 1984, 95(4): 406-421.
- [2] Keefer D V. Statistical analysis of an earthquake-induced landslide distribution: The 1989 Loma Prieta California event[J]. Engineering Geology, 2000, 58(3/4): 231-249.
- [3] Romeo R. Seismically induced landslide displacements: A predictive model[J]. Engineering Geology, 2000, 58(3/4): 337-351.
- [4] Papadopoulos G A, Plessa A. Magnitude-distance relations for earthquake-induced landslide in Greece[J]. Engineering Geology, 2000, 58(3/4): 377-386.
- [5] 孔纪名. 滑坡稳定性判别的非计算方法[J]. 山地学报, 2001, 19(5): 446-451.
- [6] 黄建梁, 王威中, 薛宏交. 坡体地震稳定性的动态分析[J]. 地震工程与工程震动, 1997, 17(4): 113-122.
- [7] 辛鸿博, 王余庆. 岩土边坡地震崩滑及其初判准则[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(5): 591-594.
- [8] Zhou B G, Zhang Y M. Some characteristics of earthquake-induced landslide in southwestern China [J]. Northwestern Seismological Journal, 1994, 16(1): 95-103.
- [9] 陈运泰. 汶川特大地震的震级和断层长度[J]. 科技导报, 2008 26(10): 26-27.
- [10] 李勇, 周荣军, 董顺利. 汶川地震的地表破裂与逆冲: 走滑作用[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2008, 35(4): 404-412.
- [11] Abrahamson N A, Somerville P G. Effects of the hanging wall and footwall on ground motions recorded during the Northridge earthquake[J]. Bull Seism Soc. Amer., 1996, 86(1B): S93-S99.
- [12] 俞言祥, 高孟潭. 台湾集集地震近场地震动的上盘效应[J]. 地震学报, 2001, 23(6): 615-621.
- [13] 孔纪名, 阿发友, 吴文平. 汶川地震滑坡类型及典型实例分析[J]. 水土保持学报, 2009, 23(6): 66-70.
- [14] 黄润秋, 裴向军, 李天斌. 汶川地震触发大光包巨型滑坡基本特征及形成机理分析[J]. 工程地质学报, 2008 16(6): 730-741.