

不同质地和容重对 Cl^- 在土壤中运移规律的影响

温 以 华

(山东省聊城市水利局, 山东聊城 252000)

摘 要: 土壤的水分含量、质地、均一性、温度等因素都会影响化学物质在土壤中的运移。在室内条件下, 采用垂直土柱易混置换法, 就不同质地及不同容重对 Cl^- 在土壤中运移规律的影响进行了初步研究。研究结果表明: Cl^- 在黏粒含量高的土壤中的水动力弥散系数(D)大于在黏粒含量低的土壤中的水动力弥散系数, 而延迟因子(R)则小于黏粒含量低的土壤。在同一质地不同容重条件下, D 值随容重的下降而减小, R 值则增大。

关键词: 溶质运移; 质地; 容重; 土壤水分

中图分类号: S153

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2002)01-0073-03

Influence of Texture and Bulk Density on the Transport's Law of Cl^- in Soils

WEN Yi-hua

(Bureau of Water Resources of Liaocheng City, Liaocheng 252000, Shandong Province, China)

Abstract: Chemicals' transport in soils can be influenced by some soil factors, such as soil moisture, texture, homogeneity and soil temperature. The influence of the texture and the bulk density on chemicals' transport under the laboratorial conditions are studied. The result is that the value of the hydraulic dispersion coefficient (D) in loessal soil is greater than that in aeolian sandy soil because of the relatively high content of clay compared with aeolian sandy soil, but the value of the retardation factor in loessal soil is smaller than that in aeolian sandy soil; and that the value of D become smaller and smaller with the bulk gravity decreasing and the value of R increased gradually.

Key words: solute transport; texture; bulk density; soil moisture

近三四十年来, 由于工业废渣、废水的排放, 农业生产中化肥的流失, 农药的大量施用以及放射性物质的地下埋放, 导致了地下水污染^[1~4], 严重威胁了人类的生命健康。为了确定这些污染物的危害程度及运动特征, 必须了解污染物在多孔介质中的运移规律以及预测其动态分布。因此研究化学物质在土壤中的运移规律, 成为预测和控制化学物质运移的关键。影响化学物质在土壤中运移的因素有很多, 对于同种物质, 在不同的条件下其运移的过程与规律是不一样的, 本文的目的是以 Cl^- 为对象, 研究质地和容重是如何影响化学物质在土壤中的运移规律。

1 材料与方法

供试土样为耕层(0~20 cm)的黄绵土、风沙土, 土样风干过 2 mm 筛, 105℃ 烘干法测吸湿水含量。土样的理化性质见表 1。

采用垂直土柱易混置换实验, 运移溶液为 0.3 mol/L NaCl。土柱直径为 4.5 cm, 填装土柱时采用分层填装法, 每 2 cm 装一次土, 土柱的高度均为 20 cm。风沙土土柱容重为 1.30 g/cm³, 黄绵土土柱容重分别为: 1.30, 1.25, 1.20 g/cm³。土柱下端用滤纸和纱布固定, 既防止了土壤颗粒的流失, 又不至于阻止土壤水的流动。实验开始前, 先把土柱放在水槽

中, 从下至上饱和并进行排气(水槽液面低于土柱高度, 但高于土面)。饱和后, 将土柱固定在铁架台上, 用马氏瓶从上端加入蒸馏水, 并控制 3 cm 水头。每隔一定时间测量土柱下端的土壤水的出流量, 当出流量达到稳定时, 即土壤水在土柱中的流动达到稳定状态时, 将土柱上端的蒸馏水换为运移溶液。开始后, 用 25 ml 容量瓶承接出流液。采用 AgNO_3 滴定法测定出流液中 Cl^- 含量^[5]。

表 1 供试土样的理化性质

土样	有机质含量		机械组成/%			
	$/(g \cdot kg^{-1})$	$/(g \cdot cm^{-3})$	沙粒	粉粒	黏粒	物理黏粒
风沙土	5.5	2.77	23.38	65.83	5.79	13.27
黄绵土	6.1	2.74	22.91	67.01	10.08	23.59

2 结果与讨论

2.1 拟合穿透曲线法求溶质运移参数

出流液的相对浓度随孔隙体积的变化曲线称为穿透曲线(BTC), BTC 可以反映溶质在介质中混合置换和运移的特征。应用 CXTFIT 程序, 拟合 Cl^- 在土柱中的穿透曲线可得到 Cl^- 的运移参数。CXTFIT 是一个依据化学物质在土壤中运移时的数学控制方程的解析解采用 Fortran 语言根据最小二乘法原理编写的应用软件, 该程序根据化学物质性质及土壤的理化性质包括线性平衡吸附情况下的线性、非线性平衡吸附模型、考虑土壤颗粒不同点位吸附规律不一样的两点/两区模型以及考虑土壤性质空间变异影响的随机模型^[6]。由于 Cl^- 的化学性质不活泼且为负价离子, 在不考虑其它汇源项的条件下, 本研究采用线性数学模型对 Cl^- 的穿透曲线进行拟合, 线性数学模型控制方程的数学表达式为

$$R \frac{\partial c_r}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c_r}{\partial x^2} - v \frac{\partial c_r}{\partial x}$$
$$c_r(x, 0) = 0$$
$$\left(-D \frac{\partial c_r}{\partial x} + v c_r \right) \Big|_{x=0^+} = V C_0$$

控制方程

初始条件

边界条件

式中: D ——水动力弥散系数; R ——延迟因子; v ——平均孔隙流速; c_r ——土壤驻留浓度; c_0 ——运移溶液的初始浓度, t ——时间, x ——距离。经拟合, Cl^- 在风沙土和黄绵土中的运移参数表 2。

表 2 CXTFIT 拟合 Cl^- 运移参数

土样	$V_p/(cm \cdot h^{-1})$	$\rho_v/(g \cdot cm^{-3})$	$D/(cm^2 \cdot h^{-1})$	R	SSQ	r^2	D/v
风沙土	2.69	1.30	0.246	0.91	0.0009	0.9995	0.093
黄绵土	2.42	1.30	0.252	0.81	0.0056	0.997	0.11
黄绵土	2.49	1.25	0.231	0.73	0.0003	0.9998	0.093
黄绵土	2.58	1.20	0.130	0.87	0.0001	0.9999	0.050

(注: SSQ 为残差平方和, r^2 为相关系数的平方)

从表中可以看出, 拟合的 SSQ 值远小于 1, r^2 非常接近 1, 说明拟合的结果还是可靠的。所有的 R 值都小于 1, 说明 Cl^- 在运移过程中受到了土壤颗粒所带负电荷的排斥作用, 使得 Cl^- 在土壤中的运移速度大于水的平均孔隙流速。 D/v 为弥散度, 是表示运移离子在运移过程中弥散强度的一个量, 从表中看出, Cl^- 在黄绵土中的弥散程度大于在风沙土中的弥散程度, 而在黄绵土中, Cl^- 的弥散程度随着容重的下降, 弥散程度也随之减弱。

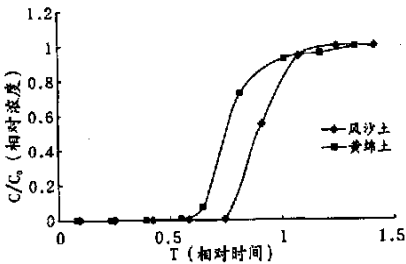


图 1 Cl^- 在风沙土和黄绵土中的穿透曲线

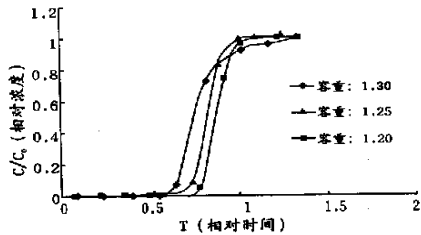


图 2 Cl^- 在不同容重黄绵土中的穿透曲线

2.2 Cl^- 运移规律比较

现在人们已认识到溶质在土壤中运移的机理有三种: 对流、扩散、水动力弥散。对流是纯力学的结果, 扩散是质点热运动的结果。而水动力弥散是由于土壤孔隙水的微观流速的变化引起的^[7]。除上述的主要机理外, 溶质运移过程中还要受到物理的、化学的固定、吸附作用, 以及自身稳定性等作用的影响。图 1 与图 2 是 Cl^- 在风沙土与黄绵土及黄绵土不同容重等处理中的穿透曲线, 穿透曲线一般认为是运移离子在介质中运移过程的真实反应。从图 1、图 2 可以看出, 四种处理的 Cl^- 初始穿透时的出流液体积均不到一个孔隙体积, 说明 Cl^- 在土柱中运移时受到了土壤颗粒所带负电荷的排斥作用, 阻止因子 (R) 小 1, 这与拟合的参数所反映出的规律是一致的。通常, 出流液中运移离子的浓度开始变化时称为初始穿透, 而当出流液中的浓度不再变化时称为完全穿透。如图 1 所示, Cl^- 初始穿透风沙土比穿透黄绵土慢, 且在风沙土中 Cl^- 初始穿透到最终穿透所

用的相对时间也少,说明 Cl^- 在风沙土中的扩散-弥散系数(D)小于在黄绵土中的扩散-弥散系数,这也是与拟合穿透曲线得到的结果一致的。 Cl^- 在风沙土中 D 值较小的原因可能是黄绵土中的黏粒含量比风沙土中含量高,使得黄绵土中小孔隙多且孔隙的曲折度比较大, Cl^- 在黄绵土中受到的机械弥散作用较大所致。还有一个可能的原因是黄绵土中的黏粒含量高,黄绵土单位质量颗粒所带的负电荷多于风沙土,因此 Cl^- 在黄绵土中受到的排斥力强,表现为在黄绵土中的扩散作用强于在风沙土中的扩散作用。 Cl^- 在风沙土中的阻止因子 R 大于在黄绵土中的 R ,原因也是由于黄绵土中黏粒含量高,对 Cl^- 的排斥作用强于风沙土的缘故。在图 2 中,同一土样不同容重条件下, Cl^- 的穿透曲线在较大容重的土柱中比在容重较小的土柱中要缓一些。原因是容重小的土柱中孔隙度较大,机械弥散作用减小,

导致扩散弥散系数减小所致。从表 1 也可以看出,随土壤容重的减小,拟合得到的 D 值也逐渐减小。黄绵土不同容重处理的 R 值随容重的减小而增大,说明随容重的减小,土壤中的负电荷总量减少, Cl^- 所受到的排斥作用减小。

3 结 论

(1) 相同的实验条件下, Cl^- 在风沙土中的水力弥散系数和弥散度小于在黄绵土中的水力弥散系数和弥散度,说明黏粒含量是影响溶质运移的一个重要因素,且黏粒含量高则弥散强度大。

(2) 在黄绵土中,随容重的减小 D 值随之减小,而 R 值增大,说明介质的孔隙状况也是影响溶质运移的一个重要因素,小孔隙增多和孔隙曲折度的增大也会使得 D 值增大和 R 值的减小。

参考文献:

- [1] 吕殿青,同延安,张金水,等. 氮肥施用对环境污染的研究[J]. 植物营养与肥料学报,1998, 4 (1): 8- 15
- [2] 旱地农田水肥关系原理与调控技术[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995 12- 20
- [3] Pereira, W. E., and F. D. Hostettler. Nonpoint source contamination of the Mississippi River and its tributaries by herbicides[J]. Environ. Sci. Technol. 1993, 27: 1542- 1552
- [4] Klavdivro, E. J., G. E. van Scoyoc, E. J. Monbe et al. Pesticides and nutrient movement into subsurface tile drains on a still loam soil in Indiana[J]. J. Environ. Qual. 1991, 20: 264- 270
- [5] 中国科学院南京土壤研究所编. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978 211- 213
- [6] Parker, J. C. and van Genuchten, M. Th. Determining transport parameters from laboratory and field tracer experiments [J]. Virginia Agricultural Experiment Station Bulletin, 1984
- [7] 李韵珠,李保国. 土壤溶质运移[M]. 北京: 科学出版社, 1998 113- 130

(上接第 69 页)

参考文献:

- [1] 史德明. 长江流域水土流失与洪涝灾害关系析[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, (1): 5- 8
- [2] 潘剑君,张桃林,赵其国. 应用遥感技术研究余江县土壤侵蚀时空演变[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, (3): 41- 44
- [3] 陈松林. 基于 GIS 的土壤侵蚀与土地利用关系研究[J]. 福建师范大学学报, 2000, (1): 34- 37
- [4] 雷会珠,杨勤科,焦锋. 黄土高原丘陵沟壑区的土壤侵蚀与土地利用[J]. 水土保持研究, 2000, (6): 25- 28
- [5] 谢永生. 长江中游洞庭湖、鄱阳湖流域水土流失与防治对策[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(1): 12- 16
- [6] 国家地图编纂委员会. 中华人民共和国国家自然地图集[M]. 北京: 中国地图出版社, 1999
- [7] 南京大学数学系. 概率统计基础和概率统计方法[M]. 北京: 科学出版社, 1979
- [8] Kang-tsung Chang, Zhaoxing Li. Modeling snow accumulation with a geographic information system [J]. J. geographical Information Science, 2000, 14(7): 693- 707.