

黄土高原土壤物理性质对养分迁移速率的影响

王 益, 刘 军, 王益权

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 采用一维饱和和稳定流易混置换试验, 用 Cl^- 和 K^+ 为对象模拟黄土高原地区 4 种典型土壤对养分运移阻滞因子 R 的影响。试验结果表明对于不同质地的土壤, 随着土壤质地变细, 运移阻滞因子增大; 对于同种质地土壤, 随着容重增加, 运移阻滞因子增大; 对于同种质地而粒级不同的土壤, 运移阻滞因子随着粒级的增大而增大; 受土壤排斥的离子较受土壤吸引的离子容易穿透土壤。

关键词: 土壤物理性质; 溶质运移; 养分

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2005)04-0020-04

中图分类号: S152.7; S158

Effects of Soil Physical Properties on Nutrient Transport Velocity in Loess Plateau

WANG Yi, LIU Jun, WANG Yi-quan

(College of Resources and Environment, Northwest University of Agriculture and Forestry,
Yangling District 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract: The effects of soil physical properties, such as texture, bulk density and particle-size on nutrient transport velocity are studied by one-dimensional saturated steady flow experiments. The results showed that the retardation factor R increased with the increase of the clay content. R increased as bulk density increased in the same soil. R also increased with particle-size at different treatments. The repellent nutrient broke through soil column more easily than the reactive nutrient.

Keywords: soil physical properties; transport; nutrient

物质在土壤中的运移是一个十分复杂的过程, 它一方面取决于物质的内在性质, 另一方面受载体土壤的物理化学性状及共存元素等外在环境条件的影响^[1-3]。黄土地区位于西部干旱内陆, 环境要素变化剧烈和频繁, 土壤松散不稳定, 结构性差, 物质在土壤内的运动受土壤物理性质的影响有很大时空变异性。以黄土高原几种典型土壤为材料, 以 Cl^- 和 K^+ 为对象, 通过测定土壤溶质运移的重要运移参数阻滞因子来剖析各个土壤物理因素对溶质运移的影响, 为科学施肥、土壤污染防治及土地管理提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

供试土样为黄土高原地区 4 种具有代表性的土壤, 其土壤名称及中国系统分类名称分别为: 风沙土(干旱砂质新成土)、黄绵土(筒育干润均腐土)、黑垆土(黄土状正常新成土)和 礆土、黑垆土和黄绵土底层土(土垫旱耕人为土)。均采自 0—20 cm 耕层, 土样经风干、磨碎, 混匀、过 2, 1, 0.25 mm 筛子后供试验

用。基本理化性状见表 1^[4], 其测定方法参照《土壤农化分析》^[5]和《土壤物理及土壤改良研究法》^[6]。

1.2 试验方法

采用一维饱和和稳定流易混置换实验。土柱直径为 1.50 cm, 高为 10.0 cm, 每种土样按照(容重, 粒径)分别设置(1.30 g/cm³, 1 mm), (1.40 g/cm³, 1 mm), (1.30 g/cm³, 2 mm) 3 组处理。填装土柱时采用分层填装法, 每 1 cm 装一次, 层与层之间的接触面划毛, 以防止孔隙不连续。装好的土柱用蒸馏水从下向上饱和以排除土壤孔隙中的空气, 使土壤毛管处于连续状态。开始用蒸馏水淋洗, 用马氏瓶供水且控制水位在土柱表层的一定高度(2.0 cm)。每隔一定时间测定土柱下端的淋洗液出流量, 当出流量达到稳定值时, 既土壤水在土柱中的流动达到稳定状态时, 用 0.20 mol/L KCl 代替蒸馏水淋洗, 流出液滴出大约 5 ml 时记时并换盛接瓶。可通过盛接瓶前后重量差求得流出液的体积。运移过程的温度为 20℃。当流出液中 K^+ 浓度与淋洗液 K^+ 浓度相等时停止实验。 Cl^- 用 AgNO_3 滴定法测定, K^+ 用火焰光度计法测定。

表 1 供试土壤基本理化性状

土样	有机质/ (g·kg ⁻¹)	阳离子交换量/ (cmol·kg ⁻¹)	酸碱度	碳酸钙/ (g·kg ⁻¹)	不同粒径(mm)土壤机械组成/(g·kg ⁻¹)			
					1~0.05	0.05~0.001	<0.001	<0.010
A	6.2	5.1	8.08	35.0	289.1	648.3	62.6	132.7
B	9.3	5.7	8.10	84.1	235.0	680.1	84.9	141.0
C	13.1	12.3	8.21	45.4	90.7	751.8	157.5	444.7
D	15.6	14.6	8.17	97.3	110.3	700.7	189.0	469.5

注: A. 风沙土; B. 黄绵土; C. 黑垆土; D. 黑垆土、黑垆土和黄绵土底层土(下同)。

2 结果与分析

2.1 拟合穿透曲线法推求运移参数

溶质运移穿透曲线(BTC)是流出液溶质相对浓度和相对时间的关系曲线,其形状可以反映溶质运移的机理和溶质与土壤间的作用,也能直观表示溶质运移过程的浓度变化。图 1 是本试验风沙土不同处理的溶质运移穿透曲线。从图 1 中分析可以看出,刚开始时出流液中运移离子的浓度基本为零。随着时间的推移,出流液中运移离子的浓度逐渐增大,当其浓度开始变化时为初始穿透,出流液中的浓度最终会稳定而不再变化,此时称为完全穿透。实验数据用 CXTFIT 程序拟合,CXTFIT 程序是一个根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 Fortune 语言根据最小二乘法原理编写的应用软件。拟合结果中 R (The retardation factor) 为阻滞因子,它表示离子在土壤中运移时受到土壤阻碍能力的大小,也就是离子在土壤介质中运移时的快慢,它与土壤容积含水量,土壤容重,土壤离子吸附等温线的斜率($\partial s/\partial c$)有关^[7]。

$$R = 1 + (\rho_b / \rho_w) (\partial s / \partial c)$$

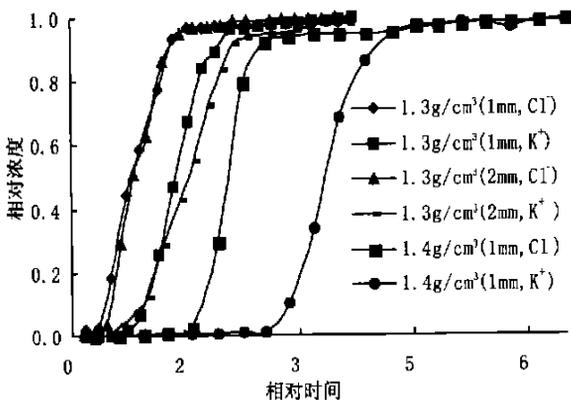


图 1 风沙土不同处理穿透曲线

2.2 不同处理对阻滞因子的影响

选取了黄土高原地区 4 种典型的质地土壤为对象,研究土壤物理条件对离子运移的影响。对试

验各个处理拟合结果中的阻滞因子分别做多重比较(表 2),结果表明,在 12 个不同处理间,Cl⁻ 在除了处理(1.40 g/cm³,1 mm)中的 B 和 C,处理(1.30 g/cm³,2 mm)中的 C 和 D 外,Cl⁻ 和 K⁺ 的阻滞因子大都存在着显著性差异。这说明土壤的类别、容重和粒径不同均对阻滞因子有显著的影响。

2.2.1 土壤类型对阻滞因子的影响 试验结果表明黄土高原地区 4 种典型土壤对于 Cl⁻ 和 K⁺ 运移阻滞因子的影响在各个处理中均符合 $R_A < R_B < R_C < R_D$ 的规律(表 2),其主要原因可能是阻滞因子与土壤质地有关。

土壤质地常常是决定土壤导水、保肥、供肥和耕性的重要因素。土壤质地不同,其对土壤孔隙性、持水性和物理机械性质的影响都有很大差异。随着质地越细,土壤黏粒含量增加,运移离子被具有极大比表面积土壤黏粒吸附作用越强烈;也有可能是由于随着黏粒含量增加,土壤孔隙半径减少,由于孔隙的毛管作用使运移溶液在毛管中的平均流速减少,进而使运移离子不容易穿透土壤。

2.2.2 土壤容重对阻滞因子的影响 土壤容重作为土壤的重要物理性质之一,对土壤孔径大小及总孔隙度起着直接的影响作用。本试验分别设了 1.3,1.4 g/cm³ 这 2 个容重作为对比,结果显示阻滞因子随着容重的增大而增大(图 2)。

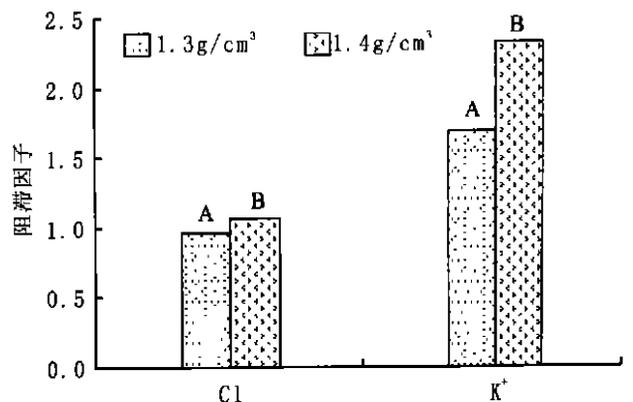


图 2 相同粒径下(1mm)容重对 Cl⁻ 和 K⁺ 阻滞因子的影响

Cl^- 和 K^+ 的阻滞因子在 2 个容重处理水平上经 T 检验均达到差异极显著水平^[8], 增加幅度分别为 9.93% 和 37.63%, 对各个处理 Cl^- 和 K^+ 的阻滞因子结果进一步做方差分析, 其结果见表 3。表 3 结果表明在 4 种典型的土壤处理中, 不同容重水平处理中的 Cl^- 和 K^+ 阻滞因子差异也分别达到极显著水平,

都有随着土壤容重增加而增大的趋势。造成运移离子的阻滞因子随土壤容重增加而增大的原因一方面是由于容重增大会使土壤孔隙度变小, 并使孔隙水流速减少; 另一方面是由于容重增大会使离子在土壤中的机械弥散作用增加, 进而导致扩散弥散系数增大^[9-10]。

表 2 不同处理下的 Cl^- 和 K^+ 的阻滞因子

处 理	土壤类型	Cl^-	K^+	$R_{\text{K}^+} - R_{\text{Cl}^-}$
1.3 g/cm ³ , 1 mm	A	0.872 ±0.008 h	1.579 ±0.002 l	0.707 **
	B	0.923 ±0.005 g	1.660 ±0.004 j	0.738 **
	C	0.991 ±0.002 f	1.731 ±0.005 h	0.740 **
	D	1.062 ±0.015 d	1.791 ±0.005 g	0.729 **
1.4 g/cm ³ , 1 mm	A	0.994 ±0.005 f	1.641 ±0.003 k	0.647 **
	B	1.031 ±0.008 e	2.391 ±0.004 e	1.360 **
	C	1.049 ±0.008 de	2.411 ±0.003 d	1.361 **
	D	1.159 ±0.054 c	2.860 ±0.003 b	1.701 **
1.3 g/cm ³ , 2 mm	A	1.151 ±0.006 c	1.690 ±0.004 i	0.539 **
	B	1.240 ±0.006 b	2.040 ±0.001 f	0.800 **
	C	1.338 ±0.003 a	2.462 ±0.002 c	1.123 **
	D	1.350 ±0.004 a	2.920 ±0.004 a	1.570 **

注: 同列数据后不同小写字母表示差异显著 (< 0.05); ** 表示相关性达 $= 0.01$ 显著水平。下表同。

表 3 容重和粒径对阻滞因子的影响

离子	土类	容重/(g cm ⁻³)			粒径/mm		
		1.3	1.4	$R_{1.4} - R_{1.3}$	1	2	$R_2 - R_1$
Cl^-	A	0.872 ±0.008	0.994 ±0.005	0.122 **	0.872 ±0.008	1.151 ±0.006	0.279 **
	B	0.923 ±0.005	1.031 ±0.008	0.108 **	0.923 ±0.005	1.240 ±0.006	0.317 **
	C	0.991 ±0.002	1.049 ±0.008	0.058 **	0.991 ±0.002	1.338 ±0.003	0.347 **
	D	1.062 ±0.015	1.159 ±0.054	0.097 **	1.062 ±0.015	1.350 ±0.004	0.288 **
K^+	A	1.579 ±0.002	1.641 ±0.003	0.062 **	1.579 ±0.002	1.690 ±0.004	0.111 **
	B	1.660 ±0.004	2.391 ±0.004	0.731 **	1.660 ±0.004	2.040 ±0.001	0.379 **
	C	1.731 ±0.005	2.411 ±0.003	0.680 **	1.731 ±0.005	2.462 ±0.002	0.731 **
	D	1.791 ±0.005	2.860 ±0.003	1.069 **	1.791 ±0.005	2.920 ±0.004	1.129 **

2.2.3 土壤团聚性对阻滞因子的影响 为了在微观尺度范围内探讨土壤团聚性对离子运移的影响, 反映结构体间孔隙和结构体内部孔隙的作用影响, 本实验分别选用粒径为 1 mm, 2 mm 的土壤作为对象以研究土壤团聚性对离子运移的作用。

试验结果表明 Cl^- 和 K^+ 的阻滞因子均随着粒径的增大而增加, 增加幅度分别为 32.02% 和 34.79%, 相同容重下 (1.3 g/cm³) 粒径对 Cl^- 和 K^+ 阻滞因子的影响见图 3。经 T 检验可知 2 个粒径水平之间的差异达到极显著。4 种土壤不同粒径 Cl^- 和 K^+ 的阻滞因子见表 3。结果表明在不同质地的土壤中 Cl^- 和 K^+ 的阻滞因子均随着土样粒级的增大而增加。

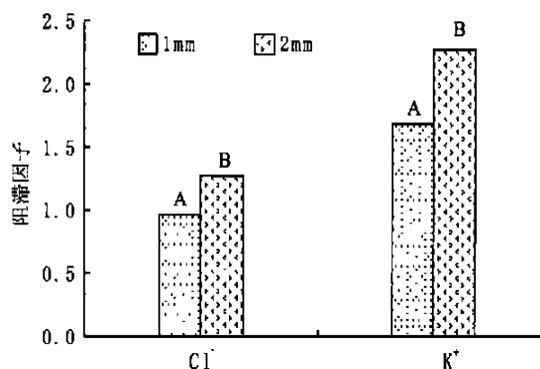


图 3 相同容重下 (1.3 g/cm³) 粒径对 Cl^- 和 K^+ 阻滞因子的影响

造成阻滞因子随着土样粒级的增大而增加的原因是由于随着供试土壤粒径的变大,在土壤样品处理过程中对土壤结构破坏越小,运移离子在结构体内部孔隙内的迁移比结构破坏大的要多而造成的。溶质在团聚体土壤中的迁移存在物理非平衡现象,结构较好的土壤内各种孔隙的一端开口,另一端不与其它孔隙连通,溶液在其中基本呈静止状态而不流动,仅有一些缓慢的扩散,而团聚体间的大孔隙由于其连续度大而成为水流的主要通道^[11]。在其它条件一定的情况下,溶质离子由在质地孔隙内运移变为在结构孔隙与在质地孔隙内运移,使其运移阻滞因子变大。

2.3 不同类型离子在土壤中迁移的比较

本次试验设计了 Cl^- 和 K^+ 2 种不同电荷类型的离子在不同处理条件下迁移过程。试验结果表明,尽管这 2 种离子在土壤中都受到了土壤介质的阻碍,但是土壤对 2 种离子的阻碍程度是不同的,4 种供试土壤 Cl^- 的平均阻滞因子分别为 1.097, K^+ 离子的为 2.098, K^+ 比 Cl^- 高 91.25%, 达到了差异极显著水平(图 4)。表 2 显示 Cl^- 与 K^+ 平均阻滞因子在各个处理间均达到差异极显著。

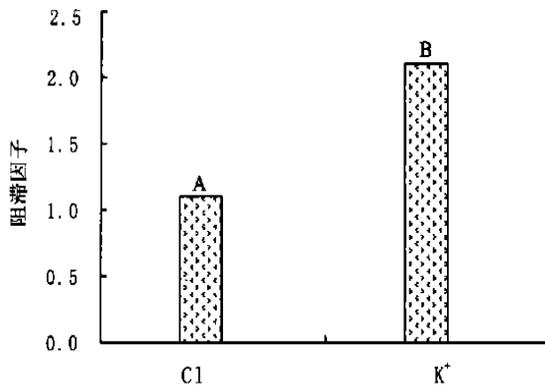


图 4 土壤对不同类型离子 Cl^- 和 K^+ 阻滞因子的影响

造成 2 种离子迁移不同步现象的原因之一可能是由土壤电荷引起的。土壤的正电荷和负电荷的代数和就是土壤的净电荷,除了少数土壤在较强的酸性条件下,或者氧化土可能出现净正电荷外,大多数土壤带有净负电荷。带有净负电荷的土壤对非反应性 Cl^- 产生排斥作用,在水流作用下使其容易穿透土壤;而 K^+ 由于电性既可能被土壤黏粒吸附,又因其粒径可进入土壤矿物的水化云母类黏土矿物的层间被强烈吸持,因此 K^+ 在土体中较 Cl^- 难迁移。

另外 K^+ 比 Cl^- 阻滞因子大的原因可能是离子半径引起的。二者离子构型均为 $3s^23p^6$,但由于负离子的负电场占优势,电子间的屏蔽作用增加,电子核对价电子的吸引力减弱而造成负离子半径比相同构型的正离子半径大。从而粒径较小的 K^+ 更容易在土壤介质中扩散弥散^[12]。

3 结 论

黄土高原地区土壤的质地、容重和团聚体大小都对溶质运移离子的阻滞因子有影响。其影响结果是运移离子的阻滞因子随着土壤质地的变细而增加;随着土壤容重的增大而增加;随着土壤团聚体粒径的增大而增加。黄土高原地区土壤对不同电性的运移离子阻碍作用程度不同,相同试验条件下带负电离子较带正电离子更容易穿透土壤。

[参 考 文 献]

- [1] 李韵珠,李保国.土壤溶质运移[M].北京:科学出版社,1998.113—131.
- [2] Bresler E, et al. Sodic and sodic principles-dynamics - modeling[M]. New York:Springer-Verlay,1980.1—7.
- [3] Fiery M. Experimental evidence of transport of pesticides through field soils[J]. J. Environ. Qual., 1996, 25: 25—45.
- [4] 朱咏莉.黄土高原地区土壤水动态变化过程对养分有效性的影响[D].西北农林科技大学,2002.15—27.
- [5] 土壤农化分析[M].第二版.北京:农业出版社.1998.29—141.
- [6] 刘孝义主编.土壤物理及土壤改良研究法[M].上海:上海科学技术出版社,1982.12—24.
- [7] 王玉,张一平.土壤液土比对土壤 NH_4^+ 运移阻滞因子的影响[J].西北农林科技大学学报,2002,30(1):43—46.
- [8] 白厚义,肖俊璋.实验研究及统计分析[M].西安:世界知识出版社,1998.130—133.
- [9] 温以华.不同质地和容重对在土壤中运移规律的影响[J].水土保持研究,2002,9(1):73—75.
- [10] 王玉,张一平,郑继勇.不同实验条件对土壤 Cl^- 运移的影响[J].西北农业大学学报,1999(增刊):13—18.
- [11] 孙慧敏.农田土壤氯离子累积与迁移机理[D].西北农林科技大学,2004.36—40.
- [12] Feng K, Wang XL, Wang XZ, et al. Relationship Between 2:1 Mineral Structure and the Fixation and Release of Cations[J]. Pedosphere, 2003, 13(1): 81—86.