# 土壤液土比对搂土 NH<sup>‡</sup> 运移阻滞因子的影响

## 王 玉,张一平

(西北农林科技大学 资源与环境学院,陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 通过 送土不同土壤液土比条件下 NH<sup>‡</sup> 饱和流运移试验, 定量描述了土壤液土比对 NH<sup>‡</sup> 运移阻滞 因子的影响。结果表明, 土壤液土比由 0 367 2 增加到 0 713 4, 相应的 NH<sup>‡</sup> 饱和流运移阻滞因子由 7.494 减小到 4 409, 具有明显的土壤液土比效应; NH<sup>‡</sup> 饱和流运移阻滞因子与土壤液土比呈极显著线性负相关。

[关键词] 溶质运移;土壤液土比;阻滞因子

[**中图分类号**] S153 6 [**文献标识码**] A

土壤交换性溶质运移的重要运移参数阻滞因子 (R)与土壤容积含水量( $\theta$ 、土壤容重( $\rho$ )、土壤离 子吸附等温线的斜率(a/a)有关,即R = 1 + ( $\rho$ /  $\theta$ )(a/a)。通常认为,土壤离子交换吸附为线性吸 附,a/a为定值<sup>[1,2]</sup>,因此可通过土壤离子吸附等温 线推求该离子运移阻滞因子<sup>[3,4]</sup>,但土壤含水量明显 影响土壤离子吸附等温线的斜率<sup>[5]</sup>,而田间溶质运 移过程的土壤含水量因土壤孔隙度、质地、降水、灌 溉、蒸散的变化发生时间和空间变异,且远小于平衡 法测土壤离子吸附等温线的土壤含水量<sup>[6]</sup>。因此,研 究土壤液土比<sup>[7]</sup>对交换性溶质运移的影响是准确预 [文章编号]1000-2782(2002)01-0043-04

报土壤交换性溶质运移的重要环节。本研究通过不同土壤液土比土柱NH4 饱和流运移试验,定量描述土壤液土比对NH4 运移阻滞因子的影响,以期为土壤交换性溶质运移研究提供参数。

## 1 材料与方法

供试土样为搂土耕层(0~20 cm)土样,采自西 北农林科技大学农作一站,其基本理化性质见文献 [8]。土柱内直径2 63 cm,分层填装。不同土壤液土 比土柱设置及其运移物理参数见表 1。

表 1 不同液土比饱和流运移土柱设置及其物理参数

Table 1 Column configuration and physical parameters with various

solution/soil ratios of saturated transport

土柱号 Colum n series	土壤质量/g M ass of soil	石英砂质量/g M ass of quarts	土柱长度/cm Length of colum n	土壤孔隙度 Soil porosity	土壤液土比/ (mL.g <sup>-1</sup> ) Solution/soil ratio	孔隙水流速/ (cm ・d <sup>-1</sup> ) Pore w ater velocity
А	75.0	0	10.0	0 493 2	0 367 2	19. 65
В	65. 0	0	9.6	0 542 5	0 447 6	54.52
С	56 0	0	9.0	0 579 5	0 520 2	173 78
D	56 0	9.0	10 1	0 563 6	0 567 7	71.33
Е	56 0	22 0	11.1	0 550 0	0 647 2	267.96
F	56 0	35.5	13.4	0 533 8	0 713 4	94.85
G	48 3	7.7	9.0	0 578 0	0 602 1	227.43
Н	42 4	16 7	9.0	0 552 8	0 654 7	308 69
т	36 7	23.2	9.0	0 543 8	0 747 8	275 82

由表 1 可见, 土柱A、B、C 为< 1 mm 风干土 样, 土柱D、E、F、G、H、I 为< 1 mm 风干土样和干净 的细石英砂(< 1 mm)按比例混匀的样品, 土壤质量 占总质量的比例依次为 86 1%, 71.8%, 61.2%, 86 2%,75 7%,65 5%。土柱D、E、F 所含土壤质量 相同,但土柱高度不同;土柱G、H、I所含土壤质量 不同,但土柱高度一致,可反映土壤质量、土柱高度 不同条件下土壤液土比对溶质运移的影响。添加石



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2

英砂后, 土壤的孔隙度没有明显的变化, 只是改变了 土壤溶液与土壤质量的比例, 且石英砂不与NH<sup>‡</sup> 反应, 因此不计算在土壤质量和土壤容重中。土壤液 土比为土壤溶液体积与土壤质量之比, 即土壤容积 含水量(θ与土壤容重(ρ<sub>b</sub>)之比(θ/ρ<sub>b</sub>,mL/g)。土柱 上下两端各垫2张尺寸适合的滤纸, 以保持土柱上 下界面不被破坏, 上面滤纸密布细孔, 以利于气体的 排出和溶液进入。

将土柱放入恒温室内,试验期间温度为(29±1) 。运移采用步输入方式,水流为稳定流。先从下端 输入蒸馏水,至上端出现液层,然后吸去上部液层; 从上部输入002mol/LCaCb溶液若干体积,至出 流液中CaCb溶液浓度与入流液一致。然后输入 004mol/LNH4Cl溶液,用马氏瓶控制各土柱液面 恒定一致,出流液每流出5mL左右换1次承接瓶。 出流液中NH<sup>4</sup>的浓度用ORDN氨气敏电极测定。 为了检验NH<sup>4</sup>在运移过程中的转化,用紫外分光 光度法测定出流液中NO<sup>3</sup>的浓度,测定结果表明, 出流液中NO<sup>3</sup>含量在1mg/kg以下,NH<sup>4</sup>的转化 作用在该试验情况下可以忽略。

### 2 结果与讨论

### 2.1 不同土壤液土比土柱的印流运移BTC性状特征

溶质运移穿透曲线(BTC)是出流液溶质相对浓 度  $(c/c_0)$  和无量纲相对时间 T(T = vt/L) 的关系曲 线, c 是出流液溶质通量浓度, co 是入流液溶质通量 浓度,L 是运移土柱长度,v 为土壤孔隙水流速,t 为 运移实际时间<sup>[8]</sup>。运移相对时间实际上是出流液孔 隙体积数。运移穿透曲线的形状可以反映溶质运移 的机理和溶质与土壤之间的作用。不同土壤液土比 土柱运移的BTCs示于图1。由图1可见,随土壤液 土比增大,BTC 突跃部分变陡,曲线尾部延伸减弱, 且相应的相对时间较小。 $c/c_0$ 为 0 5 时对应的相对 时间称溶质平均穿透点(T u s), T u s可以反映溶质运 移的快慢,各土柱的Tus均大于1,说明NH4运移 受到阻滞作用。土柱A F的液土比由 0 367 2 增 加到0 713 4,相应的平均穿透点由 7.21 减少到 4.27, 说明土壤容积含水量增大, 土壤容重减小, NH<sup>‡</sup> 运移时间少,有利于NH<sup>‡</sup> 运移。这种由于土壤 液土比变化对溶质运移产生的影响称为反应性溶质 运移的土壤液土比效应。这显然与土壤液土比增大, 离子交换吸附的容量因素增大,土壤对运移溶质 (NH<sup>‡</sup>)的吸附作用增强有关<sup>[1]</sup>。

### 2 2 土壤液土比对溶质运移的影响

在溶质运移过程中,如果孔隙水流速较慢,可认 为土壤离子吸附存在局部平衡。搂土NH<sup>‡</sup> 吸附是快 速的动力学反应过程,达到吸附平衡仅需 0 5 h 左 右<sup>[9]</sup>。在孔隙水流速最快的土柱H 中,每孔隙体积 的溶液通过土柱的时间为 2 1 h 左右,因此各试验 土柱的孔隙水流速都较慢(表 1),可认为NH<sup>‡</sup> 运移 过程中NH<sup>‡</sup> 吸附可达到平衡。因此,本试验中土柱 都是均匀填装土柱,水流为稳定流,搂土NH<sup>‡</sup> 运移 可用扩散弥散方程(CDE)的平衡模型模拟。

土娄土 NH<sup>‡</sup> 运移参数由实测 BTC 通过 CXTFIT 程序拟合而得<sup>[10]</sup>, 拟合结果列于表 2, *R* 为 阻滞因子; *D* 为扩散-弥散系数; *r*<sup>2</sup> 为决定系数, 表征 拟合BTC 与实测BTC 的接近程度; *SSQ* 为拟合值 与实测值剩余的平方和。所有试验土柱运移穿透曲 线拟合的 *r*<sup>2</sup> 接近 1, *SSQ* 值均很小, 表明选用平衡 模型描述本试验条件下不同土壤液土比土壤NH<sup>‡</sup> 运移是合适的。

由表 2 知, 土壤液土比增大, 相应的阻滞因子减 小, 这与 BTCs 分析所得  $T_{0.5}$ 变化趋势相一致, 表明 平均穿透点可近似反映阻滞作用的大小。因为  $\partial_{c}/\partial_{c}$ 也受  $\theta/\rho_{b}$  的影响, 所以 R 可表示为  $\theta/\rho_{b}$  的函数, 在 本试验条件下, 可用直线方程表示为:

 $R = 10\ 231 - 8\ 202\ \theta/\rho_{\rm b}(r = -\ 0\ 977\ 9^{*\ *}) \tag{1}$ 

直线方程达极显著负相关水平,液土比(θ/ρ<sub></sub>) 的系数为-8202,表示阻滞因子随液土比变化的变 化率,称为阻滞因子的液土比效应系数。

扩散-弥散系数(D) 受土壤孔隙曲折率、含水量 和流速等多种因素的影响<sup>[1,2]</sup>。总体来看, 土壤液土 比增大, 孔隙水流速增大, 扩散-弥散系数也增大(表 1 和表 2)。例如, 土柱A、B、C 的土壤液土比依次增 大, D 依次增大为 5.41< 11.51< 129.3 cm<sup>2</sup>/d, 表 明扩散-弥散系数也受土壤液土比显著影响, 也具有 土壤液土比效应。



#### 表 2 不同液土比土柱NH<sup>‡</sup> 饱和流运移BTCsCXTFIT 拟合参数

Table 2 The NH $_{4}^{4}$  saturated transport parameters fitted by CXTF IT with various solution/soil ratios

土柱号 Column series	R	D	$r^2$	SSQ
А	7. 494	5. 41	0 984 5	0 027 95
В	6 501	11. 51	0 989 5	0 028 38
С	6 019	129. 3	0 997 4	0 006 42
D	5. 287	16 00	0 977 0	0 046 30
Е	4.804	79.70	0 980 3	0 044 15
F	4.568	19.86	0 993 7	0 013 57
G	5. 140	134.2	0 984 6	0 021 45
Н	4.650	179.8	0 986 9	0 020 65
I	4. 409	124.1	0 985 1	0 022 13

## 3 小 结

46

土壤交换性溶质运移的重要运移参数阻滞因子 与土壤容积含水量、土壤容重、土壤离子吸附等温线 的斜率有关,但土壤含水量明显影响土壤离子吸附 等温线的斜率<sup>[5]</sup>,而测定不同土壤含水量的土壤离 子吸附等温线的斜率,再根据阻滞因子公式推求阻滞因子则比较繁琐。本研究通过土壤液土比推求 NH<sup>‡</sup>运移阻滞因子。不同土壤液土比土柱NH<sup>‡</sup>饱 和流运移阻滞因子随土壤液土比增大而减小,阻滞 因子与土壤液土比呈显著线性负相关。

#### [参考文献]

- [1] 蒋以超, 张一平. 土壤化学过程的物理化学M]北京: 中国科学技术出版社, 1993.
- [2] 李韵珠,李保国 土壤溶质运移[M] 北京:科学出版社, 1998
- [3] Kool J B, Parker J C, Zelazny L W. On the estimation of cation exchange parameters from column displacement experiments[J]. Soil Sci Soc Am J, 1989, 53: 1347-1355
- [4] 吕家珑, 张一平, 张君常, 等. 土壤磷运移研究[J]. 土壤学报, 1999, 36 (1): 75-82
- [5] 徐明岗, 张一平, 孙本华, 等. 土壤磷扩散预测[J]. 土壤学报, 1998, 35(3): 345-351.
- [6] Griffioen J, Appelo C A, van Veldhuizen M. Practice of chromatography driving isothems from elution curves[J]. Soil Sci Soc Am J, 1992, 56: 1429-1437.
- [7] Skyllberg Ulf Solution/soil ratio and release of cations and acidity from spodosolhorizons[J]. Soil Sci Soc Am J, 1995, 59: 786-795.
- [8] 王 玉,张一平,郑继勇 不同试验条件对搂土 Cr 运移的影响[J].西北农业大学学报,1999(增刊):13-18
- [9] 薛泉宏, 尉庆丰, 李保安, 等 黄土性土壤铵吸附解析动力学研究[J] 土壤学报, 1997, 34(2): 113-122
- [10] Parker J C, van Genuchten M Th Detem ining transport parameters from laboratory and field trace experiments (Bulletin 84-3) [M]. B lack surg: V irginia A gricultural Experimental Station, V irginia Polytechnic Institute and State U niversity, 1984

# Effects of solution/soil ratios on exchangeable $NH_4^+$ retardation factor

#### WANG Yu, ZHANG Yi-ping

(College of Resources and Environment, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and forestry, Yangling, Shannxi, 712100, China)

Abstract The retardation factor is the important parameter of exchangeable solute transport, but the complete methods to obtain the retardarion factor are not available now.  $NH_4^+$  transport experiments with various solution/soil ratios under saturated flow were carried out, and the quantitative effects of the solution/soil ratio on the retardation factor have been studied The results showed that the retardation factor of  $NH_4^+$  transport decreased significantly with increasing solution/soil ratios A s the solution/soil ratios increase from 0 367 2 to 0 713 4, the retardation factor decreases from 7. 494 to 4 409. Statistically, it was significantly linearly negatively correlated with the solution/soil ratio.

Key words: soil solute transport; solution/soil ratio; retardation factor

1