

DOI: 10.11766/trxb201303040099

砂质多孔介质中土壤颗粒的迁移*

杜丽娜^{1,2} 邵明安^{2,3†} 魏孝荣^{1,2} 贾小旭^{1,2} 李学章^{2,3}

(1 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

(2 西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西杨凌 712100)

(3 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要 通过室内模拟试验,研究了不同土壤悬液浓度和不同多孔介质组成条件下土壤颗粒在砂质多孔介质中的截留和迁出特征,以揭示土壤颗粒在砂质多孔介质中的迁移特征。结果表明,土壤颗粒在砂质多孔介质中迁移时会受到土壤颗粒粒级、浓度和介质组成的影响。截留作用在土壤颗粒通过砂质多孔介质时起主导作用,土壤颗粒截留比例随着土壤颗粒浓度的增大逐渐增加;而随着多孔介质中粗砂比例的增大,其逐渐降低。土壤总颗粒、 $>50\ \mu\text{m}$ 和 $1\sim 50\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒迁出量分别与该粒级相应投入量呈幂函数增加趋势,而 $<1\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒的迁出量与其投入量呈线性增加趋势。土壤总颗粒迁出量与介质中粗砂比例之间存在线性增加关系。因此,多孔介质组成、颗粒粒径和浓度在土壤颗粒迁移过程中起着重要作用,在多孔介质中土壤颗粒和污染物迁移研究方面需要充分考虑这些因素。

关键词 土壤颗粒;多孔介质;截留;迁出;土壤悬液浓度

中图分类号 S152.9 **文献标识码** A

土壤颗粒迁移是发生在土壤中的最为普遍的土壤物理过程,在土壤发生和土壤物质迁移过程中具有重要作用^[1]。土壤颗粒能够作为养分和污染物的载体与养分和污染物共同迁移^[2-4],对土壤和地下水环境造成危害。因此,研究土壤颗粒的迁移对于揭示成土作用与土壤物质的环境行为及这些之间的关系具有重要的理论和实践意义。

目前在多孔介质中物质迁移研究方面,国内外研究者多偏重于水和溶质或可溶性物质的迁移,比如水^[5-7]、养分^[8-9]、胶体^[10-11]、病毒^[12]等的迁移。这些研究为多孔介质中物质迁移的理论发展、实验研究和实践应用奠定了基础,也为土壤颗粒迁移研究提供了重要的参考。但是由于土壤颗粒组成和粒级复杂,其在多孔介质中的迁移过程显著区别于水、溶质和其他分散系。土壤颗粒迁移对污染物质的环境行为的影响还与土壤颗粒的理化性质有关,如较大粒级的土壤颗粒容易造成多孔介质孔隙阻塞,从而阻滞污染物的迁移;而较小粒级的土壤颗粒

对污染物具有很强的吸附能力,而且由于粒径较小,易于迁移,从而可以促进污染物在多孔介质中的迁移^[13-14]。多孔介质是污染物进入地下水的过渡带,在污染物环境行为研究中具有重要地位。但是目前在多孔介质物质迁移研究方面,很少考虑到土壤颗粒的迁移,而这方面的研究不但有助于现有多孔介质物质迁移理论的完善和研究领域的扩宽,而且可以为污染物在多孔介质中的运移行为的准确预测和突发性污染事故的科学处理提供重要的依据。

本文通过室内模拟试验,研究了不同土壤颗粒浓度和不同多孔介质组成条件下,土壤颗粒在砂质多孔介质中的截留和迁出特征,并且分析了不同粒级土壤颗粒在砂质多孔介质中截留和迁出总量与土壤颗粒浓度和介质组成的关系,以揭示土壤颗粒在砂质多孔介质中的迁移特征,为准确预测多孔介质中不同粒级土壤颗粒的迁移提供基础资料和科学依据。

* 国家自然科学基金项目(No. 91025018)与中国科学院西部行动计划(No. KZCX2-XB3-13-02)共同资助

† 通讯作者, E-mail: mashao@ms.iswc.ac.cn

作者简介:杜丽娜(1988—),女,甘肃张掖人,硕士研究生,研究方向为土壤物理。E-mail: dln0108@163.com

收稿日期: 2013-03-04; 收到修改稿日期: 2013-07-12

1 材料与方 法

1.1 土壤样品

本研究所用土壤为壤土,采自西北农林科技大学试验站,采样深度为 0 ~ 20 cm。根据我国土壤颗粒成分分级标准,供试土壤的颗粒百分比为砂粒占 21%,粉粒占 62.4%,黏粒占 16.6%,属于粉砂壤土。土壤样品采回后自然风干,研磨过 2 mm 筛备用。

1.2 砂质多孔介质及土壤颗粒悬液制备

本研究中砂质多孔介质由河砂制备,采集河砂后,选取 500 ~ 1 000 μm 和 0 ~ 500 μm 部分,分别代表粗砂和细砂。粗砂和细砂用 2 mol L⁻¹ 氢氧化钠溶液浸泡、反复搅动,静置 12 h,再用 2 mol L⁻¹ 盐酸溶液浸泡、反复搅动,静置 12 h,后用蒸馏水冲洗干净,105 °C 烘干备用。

分别称取 1、2、3、4 g 土壤样品,加入 100 ml 蒸馏水配制成不同浓度的土壤颗粒悬液(表 1),连续快速搅拌,以使土粒尽量分散。

1.3 土壤颗粒迁移试验

细砂和粗砂按照试验设计比例(表 1)充分混合均匀,分层填装入直径 5 cm、高 5 cm 土柱内,每 1 cm 装一次砂,砂子填装密度为 1.14 g cm⁻³,构成

不同颗粒组成的砂质多孔介质。将配制好的土壤颗粒悬液在连续搅拌下以均匀流速迁移通过砂质多孔介质,在多孔介质下端收集滤出液,待不再有水滴滴下时,分别测定滤出液中迁出多孔介质的土壤颗粒和砂质多孔介质中截留的土壤颗粒总量,并用沉降法测定颗粒的机械组成,计算迁出多孔介质的不同粒级土壤颗粒总量和被多孔介质截留的不同粒级土壤颗粒总量。每个处理重复 2 次。

1.4 数据处理

用二元方差分析方法分析土壤悬液浓度和 多孔介质组成对不同粒级土壤颗粒截留和迁出量的影响,用简单一元回归分析方法分析不同粒级土壤颗粒截留量和迁出量与土壤颗粒投入量之间的关系,方差分析和回归分析用 SAS 软件完成。

2 结果与讨论

2.1 多孔介质对土壤颗粒的截留特性

土壤颗粒在多孔介质中的截留特性不但与溶液中土壤颗粒浓度有关,而且与多孔介质孔隙组成有关(表 2)。不同土壤颗粒浓度、多孔介质组成对砂质多孔介质中不同粒级土壤颗粒的截留特征所产生的影响不同。

表 1 试验处理及试验条件

Table 1 Treatments and conditions of the experiment

处理号 Treatment number	介质组成(质量比) Composition of medium (Mass ratio)		土壤悬液浓度 Soil suspension concentration (g L ⁻¹)	处理号 Treatment number	介质组成(质量比) Composition of medium (Mass ratio)		土壤悬液浓度 Soil suspension concentration (g L ⁻¹)
	粗砂 Coarse sand (%)	细砂 Fine sand (%)			粗砂 Coarse sand (%)	细砂 Fine sand (%)	
	1	100			0	10	
2	100	0	20	12	50	50	40
3	100	0	30	13	25	75	10
4	100	0	40	14	25	75	20
5	75	25	10	15	25	75	30
6	75	25	20	16	25	75	40
7	75	25	30	17	0	100	10
8	75	25	40	18	0	100	20
9	50	50	10	19	0	100	30
10	50	50	20	20	0	100	40

表 2 土壤颗粒浓度和孔隙介质组成与颗粒截留和迁出量的方差分析

Table 2 Analysis of variance of retention and outflow of soil particles relative to soil particle concentration and composition of porous medium

砂质多孔介质对土壤颗粒的截留						
Retention of soil particles in sandy porous media						
	介质组成		土壤悬液浓度		交互作用	
	Composition of medium		Soil suspension concentration		Interactions	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
>50 μm 颗粒	28.9	<0.000 1	72.2	<0.000 1	3.2	0.010
>50 μm particles						
1 - 50 μm 颗粒	12.8	<0.000 1	159 6.5	<0.000 1	2.4	0.038
1 - 50 μm particles						
<1 μm 颗粒	17.9	<0.000 1	9.9	<0.000 1	30.6	0.813
<1 μm particles						
颗粒总量	72.7	<0.000 1	106 377.3	<0.000 1	4.6	0.001
The total particles						

砂质多孔介质对土壤颗粒的迁出						
Outflow of soil particles from sandy porous media						
	介质组成		土壤悬液浓度		交互作用	
	Composition of medium		Soil suspension concentration		Interactions	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
>50 μm 颗粒	8.6	<0.000 1	5.1	0.009 0	0.5	0.872
>50 μm particles						
1 - 50 μm 颗粒	8.5	<0.000 1	9.9	<0.000 1	1.9	0.098
1 - 50 μm particles						
<1 μm 颗粒	8.4	0.001 0	35.7	<0.000 1	4.5	0.002
<1 μm particles						
颗粒总量	72.7	<0.000 1	22.9	<0.000 1	4.6	0.001
The total particles						

注: F 为组间均方与组内均方之比; p 为显著性概率 Note: F stands for the ratio of mean square between groups and mean square within groups; p for significance probability.

多孔介质截留的土壤颗粒总量占到投入总量的 90% 以上,说明截留在土壤颗粒通过砂质多孔介质时起主导作用。而且随着多孔介质中粗砂比例的增加,土壤颗粒截留比例逐渐降低($r = 0.724, n = 20, p < 0.01$)。

本研究表明,砂质多孔介质中土壤颗粒截留总量、>50 μm 和 1 ~ 50 μm 土壤颗粒截留量分别与土壤颗粒投入总量及相应粒级颗粒投入量有着极显著的相关性(图 1a ~ 图 1c);多孔介质对 <1 μm 土壤颗粒的截留分别与该粒级、>50 μm 、1 ~ 50 μm 土壤颗粒投入量和土壤颗粒总投入量呈线性正相关(图 1d ~ 图 1g);还与 1 ~ 50 μm 土壤颗粒截留量呈极显著正相关(图 1h)。表明砂质多孔介质对

较粗土壤颗粒的截留主要受投入量的影响,而对较细土壤颗粒的截留不仅受较粗土壤颗粒投入量的影响,还与多孔介质对较粗颗粒的截留量有关。这可能与较粗颗粒对多孔介质孔隙状况的改变有关。土壤颗粒的投入量越高,越易引起介质孔隙阻塞,越有利于土壤颗粒的截留。

不同粒级土壤颗粒在砂质多孔介质中的截留特征受土壤颗粒浓度和孔隙介质组成的影响(图 2)。随着投入悬液土壤颗粒浓度的增加,截留总颗粒量占投入总颗粒量的比例随之增加,如随着土壤悬液浓度的增加,0、25、50、75 和 100% 的粗砂构成的多孔介质中土壤颗粒的截留与投入的比值分别从 97、98、97、95 和 90% 增加到 99、99、98、98 和

95% (图 2a)。如果土壤颗粒截留量随投入量呈线性增加关系,则截留量占投入量的比例不随投入量的增加而增加;如果颗粒截留量随投入量呈非线性增加,则截留量占投入量的比例随投入量的增加而增加。因此在本研究设计的土壤悬液浓度范围内,总的颗粒截留量随投入量的增加呈非线性增加趋

势,而且其增加程度超过线性增加程度。这是因为在低浓度时截留的土壤颗粒堵塞了大部分介质孔隙,之后随着悬液浓度的增加,所增加的土壤颗粒几乎全部被截留,因此土壤颗粒截留量占投入量的比例随着悬液浓度的增加而增加。

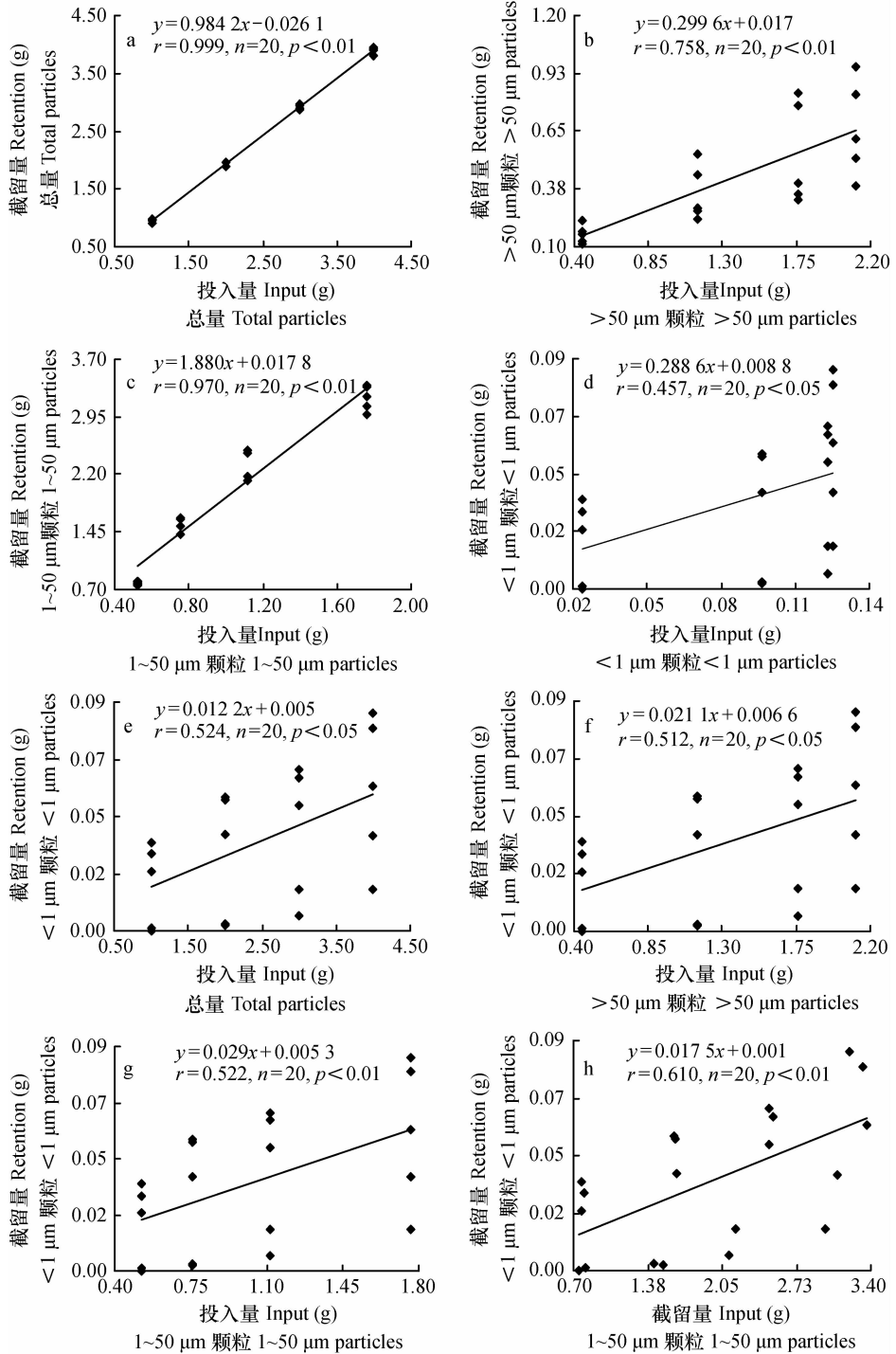


图 1 截留量与投入量之间的关系

Fig. 1 Relationship between retention and input in amount

随土壤悬液浓度的增加,砂质多孔介质中 $>50\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒截留量占该粒级土壤颗粒投入量的比例无显著变化规律,如 0、25、50、75 和 100% 粗砂构成的多孔介质的截留与投入的比值分别介于 35~45、50~39、41~29、28~25 和 26~19% 之间(图 2b)。表明在本研究的土壤悬液浓度范围内, $>50\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒的截留量一直随该粒级土壤颗粒的投入量线性增加。由于 $>50\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒对多孔介质孔隙的阻塞作用比较大,该粒级颗粒的截留占投入的比例应该也随颗粒密度的增加而增加,但是该部分颗粒在多孔介质中迁移和截留时,由于与介质发生作用,可能该粒级部分颗粒分散为更小的粒级,使得该粒级土壤颗粒的截留量有所减少。因此其截留占投入比例随土壤悬液浓度变化不大。

本研究中 $1\sim 50\ \mu\text{m}$ 和 $<1\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒在多孔介质中的截留量随悬液浓度增大而增加(图 2c 和图

2d),而且 $1\sim 50\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒的截留量显著高于投入量(图 1c),这是由于迁移过程中土壤颗粒与多孔介质及土壤颗粒之间发生物理作用,较粗土壤颗粒发生分散、破碎,增加了细颗粒的截留量。这些结果表明,砂质多孔介质对 $1\sim 50\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒和 $<1\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒的截留分别受 $>50\ \mu\text{m}$ 和 $>1\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒浓度的影响。

多孔介质的孔隙组成主要受到构成多孔介质的物质颗粒大小的影响,随着构成多孔介质的粗颗粒比例的增加,多孔介质的颗粒粒径逐渐增加,其总孔隙度减小^[15],多孔介质对土壤颗粒的截留有所降低^[16]。因此随着多孔介质中粗砂比例的增加,总土壤颗粒截留量和 $>50\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒的截留量分别占其投入量的比例均随之逐渐降低(图 2a 和图 2b),表明砂质多孔介质对土壤颗粒的截留与多孔介质组成有关。

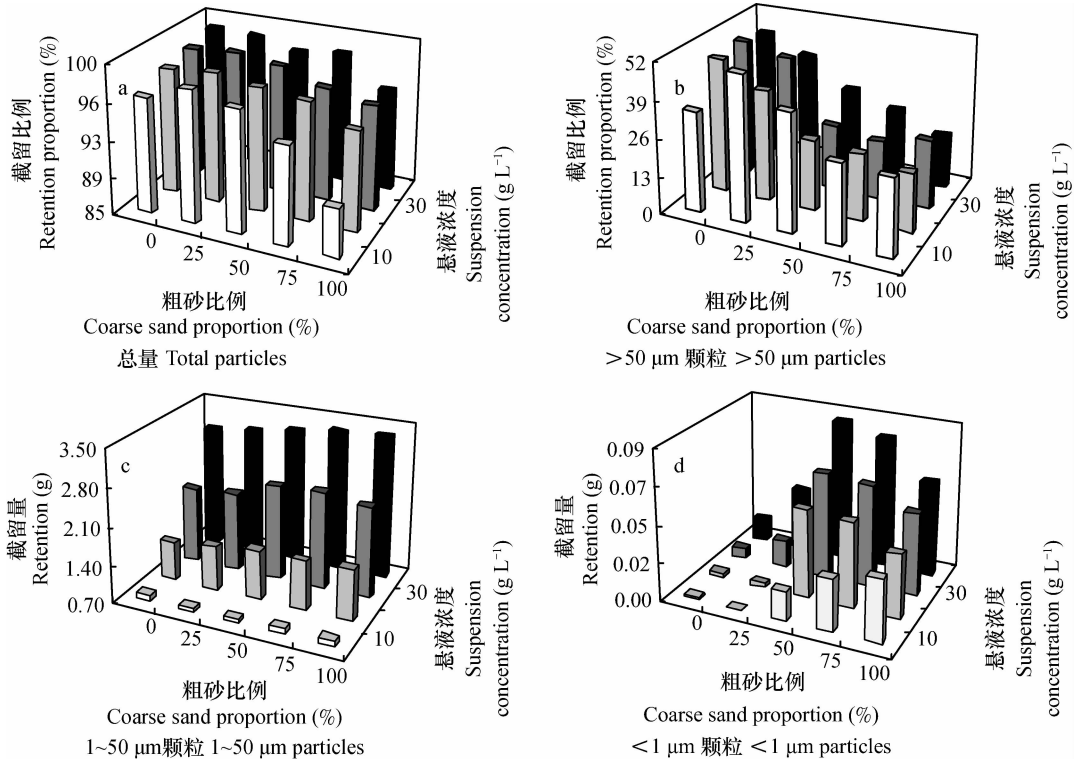


图 2 土壤悬液浓度和砂质多孔介质组成对土壤颗粒截留量的影响

Fig. 2 Effect of concentration of soil suspension and composition of porous medium on retention of soil particles

由决定系数 R^2 可以看出(图 3),介质组成对 $1\sim 50\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒截留量的影响与土壤悬液浓度有关,随着悬液浓度的增大, $1\sim 50\ \mu\text{m}$ 颗粒截留量对多孔介质组成的依赖逐渐增加。这是因为当悬液浓度较小时,介质孔隙对颗粒穿透的限制作用比较小,当悬液浓度较大时,容易阻塞介质孔隙,减少了介质中允许颗粒穿透的孔隙数量,其对颗粒穿透

的限制作用变大。

多孔介质组成对 $<1\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒截留量的影响亦与土壤悬液浓度有关,随着悬液浓度的增大,决定系数 R^2 逐渐减小(图 4), $<1\ \mu\text{m}$ 颗粒截留量对多孔介质组成的依赖逐渐降低。这是由于多孔介质对土壤颗粒截留量的影响主要是通过对孔隙状况的影响实现的,但是,土壤悬液浓度愈大, $<1\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒

愈易堆积, <1 μm 土壤颗粒比表面积大, 它们堆积在一起时, 透水性差, 具有胀缩性, 会改变介质组成的孔

隙状况, 从而, <1 μm 土壤颗粒截留量对多孔介质组成的依赖随着悬液浓度的增大而降低。

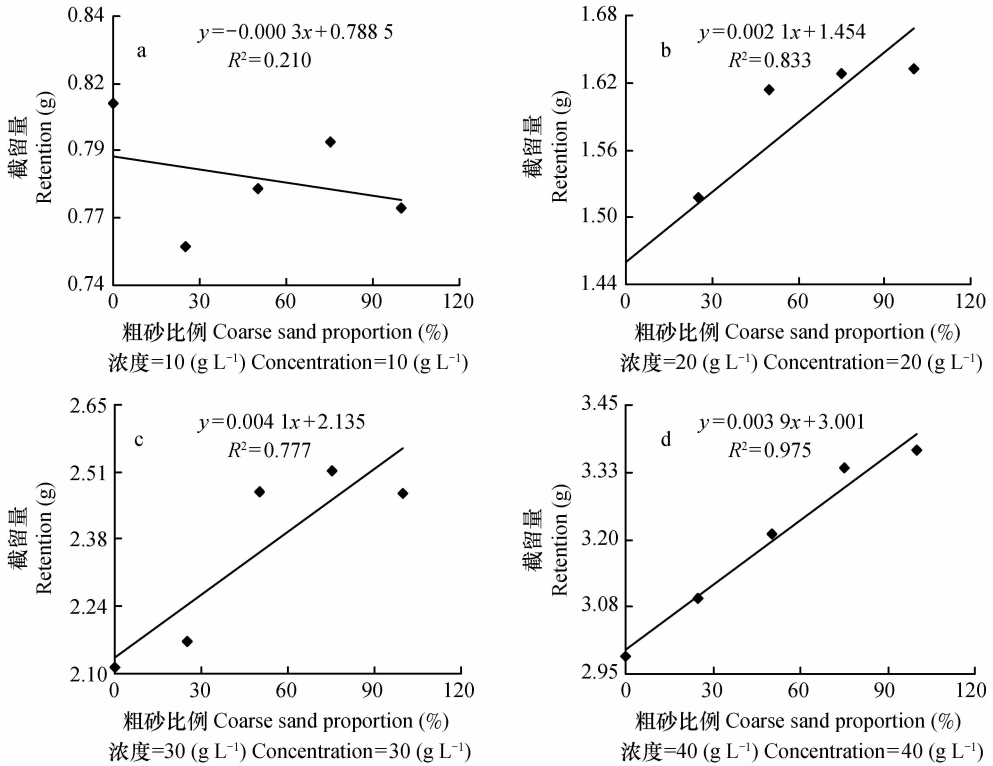


图 3 1 ~ 50 μm 土壤颗粒截留量与颗粒浓度的关系

Fig. 3 Relationship between retention and concentration of 1 ~ 50 μm soil particles

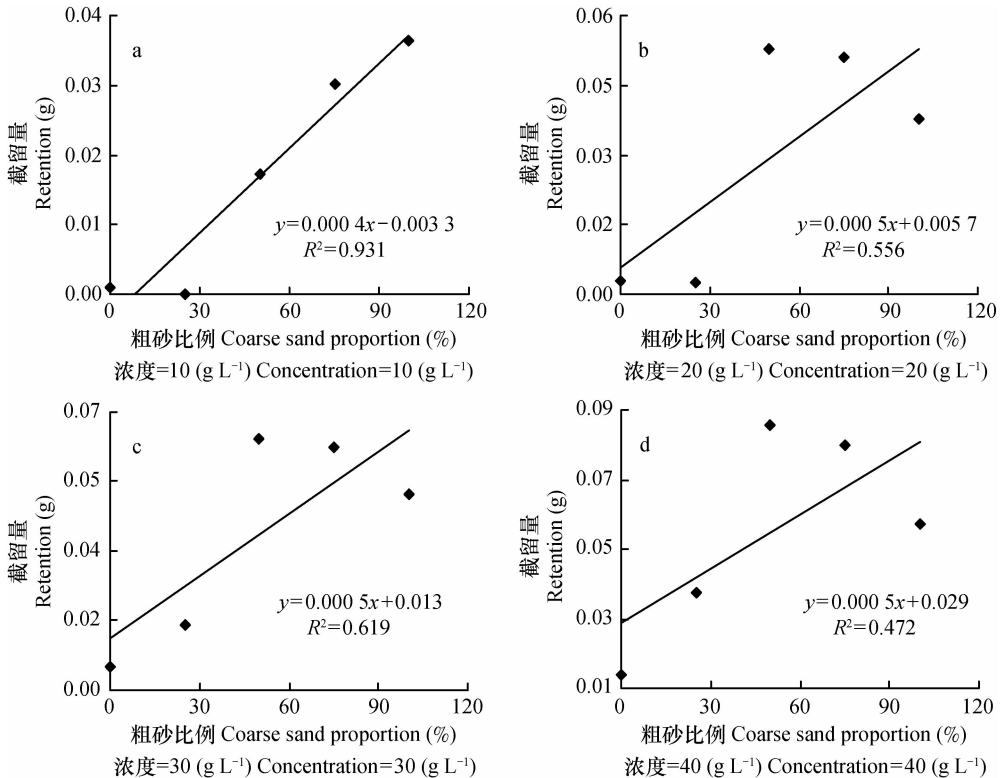


图 4 <1 μm 土壤颗粒截留量与颗粒密度的关系

Fig. 4 Relationship between retention and concentration of <1 μm soil particles

2.2 土壤颗粒的迁出特性

土壤总颗粒及不同粒级土壤颗粒在砂质多孔介质中的迁出特性与土壤颗粒浓度和 多孔介质组成有关(表 2)。土壤颗粒迁出总量、 $>50\ \mu\text{m}$ 和 $1\sim 50\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒迁出量分别与 该粒级相应投入量呈现出非线性(乘幂)增加趋势(图 5a 和图 5b); $<1\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒迁出量与其投入量呈线性增加趋势(图 5d)。这是由于 $>50\ \mu\text{m}$ 和 $1\sim 50\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒在土壤悬液浓度较低时易于迁出多孔介质,其迁

出量随悬液浓度的增大而增加,当悬液浓度较高时,由于颗粒对介质孔隙的堵塞,迁出量有所减少,总迁出量增加的较为缓慢,因此总土壤颗粒、 $>50\ \mu\text{m}$ 和 $1\sim 50\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒迁出量与其投入量之间呈现出显著的幂函数增加关系。此外,土壤投入量愈高, $<1\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒浓度增加,小孔隙增多,有利于 $<1\ \mu\text{m}$ 的极细土壤颗粒迁出多孔介质;而且,投入土壤颗粒浓度较高时,较细的土壤颗粒易受到粗颗粒分散和破碎的影响,生成新的细颗粒。

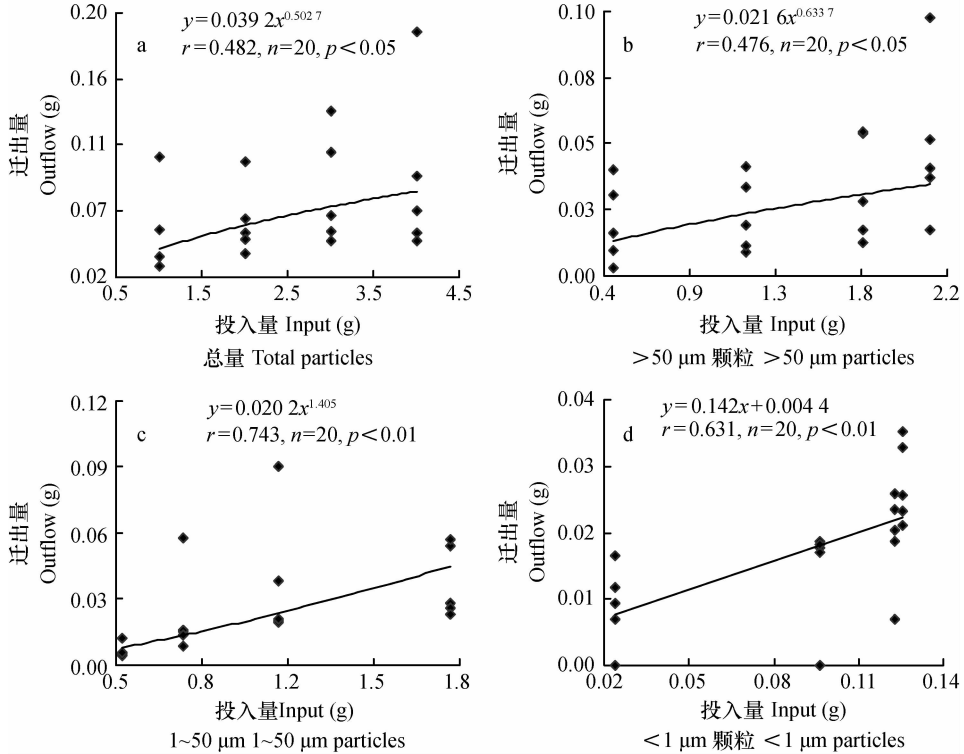


图 5 迁出量和投入总量的关系

Fig. 5 Relationship between outflow and total input

随着多孔介质中粗砂比例的增加,土壤总颗粒迁出量占投入量的比例逐渐增加,表明土壤总颗粒迁出量与介质中粗砂比例之间存在线性增加关系($r = 0.734$, $n = 20$, $p < 0.01$),土壤总颗粒的迁出量占投入量的比例随土壤悬液浓度的增加逐渐降低(图 6),这与上面观测到的迁出量随投入量成幂函数增加的趋势相吻合。因此砂质多孔介质中总土壤颗粒的迁出特征受介质组成和悬液浓度共同影响(二者具有极显著的交互作用,表 2)。

不同粒级土壤颗粒在多孔介质中的迁出特征与土壤颗粒对多孔介质孔隙的堵塞、颗粒自身的破碎、颗粒的迁移特征等有关,而这些过程又受到悬

液浓度和孔隙组成的因素的影响,因此不同浓度下各粒级的土壤颗粒在不同组成的多孔介质中的迁出特征差异很大(图 6)。随着投入悬液土壤颗粒浓度的增加,迁出多孔介质的土壤颗粒总量和 $>50\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒量占其投入颗粒量的比例均随之降低(图 6a 和图 6b)。

随着多孔介质中粗砂比例的增加,土壤颗粒迁出总量和 $>50\ \mu\text{m}$ 土壤颗粒量分别占投入土壤颗粒总量随之降低(图 6a 和图 6b),如前所述,这是由于随着构成多孔介质的粗颗粒比例的增加,其孔隙度减小,从而,多孔介质对土壤颗粒的迁出有所降低。

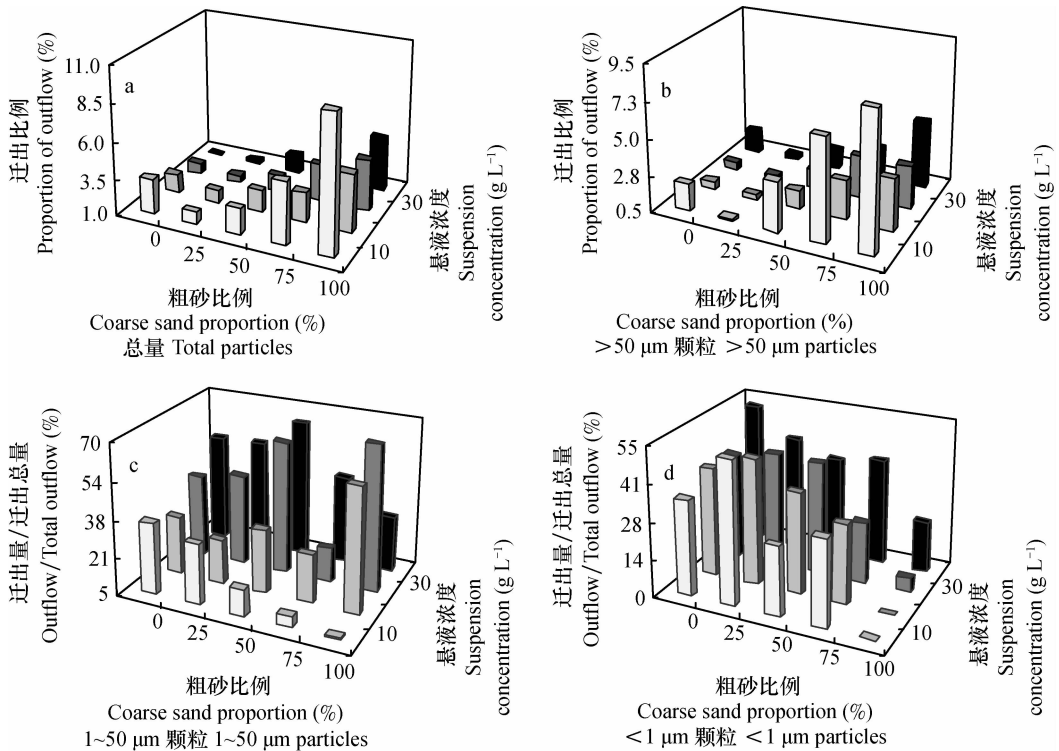


图6 土壤悬液浓度和多孔介质组成对土壤颗粒迁出量的影响

Fig. 6 Effect of concentration of soil suspension and composition of porous medium on outflow of soil particles

3 结论

土壤颗粒在砂质多孔介质中迁移时受到土壤颗粒粒级、浓度和介质组成的影响。截留作用在土壤颗粒通过砂质多孔介质时起主导作用,随着土壤颗粒浓度的增加,土壤颗粒截留比例也逐渐增加;而随着多孔介质中粗砂比例的增加,土壤颗粒截留比例逐渐降低。砂质多孔介质对较粗土壤颗粒的截留主要受到投入总量的影响,而对较细土壤颗粒的截留不仅受较粗土壤颗粒投入量的影响,还与多孔介质对较粗颗粒的截留量有关。随着颗粒浓度的增大,多孔介质对 $1 \sim 50 \mu\text{m}$ 土壤颗粒截留量对多孔介质组成的依赖逐渐增加,而 $< 1 \mu\text{m}$ 土壤颗粒截留量对多孔介质组成的依赖逐渐降低。总土壤颗粒、 $> 50 \mu\text{m}$ 和 $1 \sim 50 \mu\text{m}$ 土壤颗粒迁出量分别与该粒级相应投入量呈幂函数增加趋势,而 $< 1 \mu\text{m}$ 土壤颗粒的迁出量与其投入量呈线性增加趋势。随着多孔介质中粗砂比例的增加,土壤总颗粒迁出量占投入量的比例逐渐增加,土壤总颗粒迁出量与介质中粗砂比例之间存在线性增加关系。

参考文献

- [1] 黄昌勇. 土壤学. 北京:中国农业出版社,2000. Huang C Y. Soil science (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2000
- [2] 王辉,王全九,邵明安. 人工降雨条件下黄土坡面养分随径流迁移试验. 农业工程学报,2006,22(6):39—44. Wang H, Wang Q J, Shao M A. Laboratory experiments of soil nutrient transfer in the loess slope with surface run off during simulated rain fall (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2006, 22(6): 39—44
- [3] 卢信,赵炳梓,张佳宝,等. 不同可溶性有机碳对铜在土壤中迁移的影响. 土壤学报,2007,44(3):418—424. Lu X, Zhao B Z, Zhang J B, et al. Mobility of Cu in soils in relation to dissolved organic carbon (DOC) (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2007, 44(3): 418—424
- [4] 赵炳梓,张佳宝. 病毒在土壤中的迁移行为. 土壤学报,2006,43(2):306—313. Zhao B Z, Zhang J B. Transport of viruses in the soil: An overview (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(2): 306—313
- [5] 刘春利,邵明安. 六道河流域典型坡面不同土地利用方式下土壤水分动态变化研究. 中国生态农业学报,2006,14(4):54—56. Liu C L, Shao M A. Studies on dynamic changes of water contents of soil under different land uses in Liudaogou basin (In Chinese). Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2006, 14(4): 54—56
- [6] 金梁,胡克林,李保国,等. 作物生长与土壤水氮运移联合模

- 拟的研究 II: 模型验证与应用. 水利学报, 2007, 38(8): 972—980. Jin L, Hu K L, Li B G, et al. Coupled simulation on crop growth and soil water-heat-nitrogen transport. II. Model validation and application (In Chinese). Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(8): 972—980
- [7] 叶乐安, 刘春平, 邵明安. 土壤水、热和溶质耦合运移研究进展. 湖南师范大学自然科学学报, 2002, 25(2): 88—92. Ye L A, Liu C P, Shao M A. Development in the research on simultaneous transport of heat, water and solute in soils (In Chinese). Journal of Natural Science of Hunan Normal University, 2002, 25(2): 88—92
- [8] 田坤, Huang Chihua, 张广军. 土壤溶质迁移至地表径流过程的室内模拟试验. 农业工程学报, 2009, 25(11): 97—102. Tian K, Huang C H, Zhang G J. Laboratory simulation experiment on chemical transport from soil to surface runoff (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 97—102
- [9] 张长保, 王全九, 樊军, 等. 模拟降雨下 PAM 对砂黄土养分迁移影响实验研究. 灌溉排水学报, 2008, 27(1): 82—85. Zhang C B, Wang Q J, Fan J, et al. Effects of different quantity of PAM on nutrient transfer under artificial rainfall with sandy loess (In Chinese). Journal of Irrigation and Drainage, 2008, 27(1): 82—85
- [10] Zhuang J, Tyner J S, Perfect E. Colloid transport and remobilization in porous media during infiltration and drainage. Journal of Hydrology, 2009, 377: 112—119
- [11] Zhuang J, Goepfert N, Tu C, et al. Colloid transport with wetting fronts: Inter active effects of solution surface tension and ionic strength. Water Research, 2010, 44: 1270—1278
- [12] Jin Y, Chu Y J, Li Y S. Virus removal and transport in saturated and unsaturated sand columns. Journal of Contaminant Hydrology, 2000, 43: 111—128
- [13] Wei X R, Shao M A, Horton R T, et al. Humic acid transport in water-saturated porous media. Environmental Modeling & Assessment, 2010, 15: 53—63
- [14] 魏孝荣, 邵明安. 胡敏酸在土壤中的迁移. 中国环境科学, 2007, 27(3): 336—340. Wei X R, Shao M A. The transport of humic acid in soils (In Chinese). China Environmental Science, 2007, 27(3): 336—340
- [15] 邵明安, 王全九, 黄明斌. 土壤物理学. 北京: 高等教育出版社, 2006. Shao M A, Wang Q J, Huang M B. Soil physics (In Chinese). Beijing: Higher Education Press, 2006
- [16] Silliman S E. Particle transport through two-dimensional, saturated porous media: Influence of physical structure of the medium. Journal of Hydrology, 1995, 167: 79—98

TRANSPORT OF SOIL PARTICLES IN SANDY POROUS MEDIA

Du Lina^{1,2} Shao Ming'an^{2,3†} Wei Xiaorong^{1,2} Jia Xiaoxu^{1,2} Li Xuezhong^{2,3}

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

(2 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

(3 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract Through in-lab simulation, research was carried out on retention and migration of soil particles in different sandy porous media relative to concentration of soil suspension, to explore characteristics of the migration of soil particles in sandy porous media. Results show that migration of soil particle in sandy porous media was influenced by size and concentration of soil particles as well as composition of the porous media. Retention dominated the transport of soil particles through porous media with retention rate increasing with the concentration of soil particles, and decreasing with the proportion of coarse sand in porous media. The outflow of total particles, $> 50 \mu\text{m}$ particles and $1 \sim 50 \mu\text{m}$ particles increased with the input amount of their respective fractions in a power function, while the outflow of $< 1 \mu\text{m}$ particles increased linearly with the input amount. The outflow of total particles increased linearly with the proportion of coarse sand in porous media. The results from this study suggest that composition of porous medium and size and concentration of soil particles are major factors affecting migration of soil particles through sandy porous media, and factors that should be taken into full account in the study on fate of soil particles and contaminants in porous media.

Key words Soil particles; Porous media; Retention; Outflow; Concentration of soil suspension

(责任编辑:汪枫生)