

文章编号:1673-9469(2023)04-0032-09

DOI:10.3969/j.issn.1673-9469.2023.04.005

含有球状微塑料的黄绵土在各降雨条件下的 盐分运移规律研究

陈亮^{1,2,3},徐灿玮^{1,2*},司朋举^{1,2}

(1.河海大学土木与交通学院,江苏南京210098;2.河海大学岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室,江苏南京210098;3.西藏农牧学院,西藏林芝860000)

摘要:为研究不同粒径和含量球状微塑料的黄绵土在不同降雨条件下的盐分运移变化规律,利用室内一维土柱模型开展垂直入渗试验,得到不同降雨条件下的各含量和粒径微塑料的土柱入渗电导率随时间变化散点图。研究表明:在黄绵土中低含量微塑料显著促进NaCl溶液的入渗,高含量微塑料阻滞NaCl溶液的入渗,而降雨条件会改变微塑料临界含量;在黄绵土中稍小粒径微塑料显著促进NaCl溶液入渗,稍大粒径微塑料阻滞NaCl溶液的入渗;低含量和小粒径微塑料对降雨响应更灵敏。

关键词:微塑料;黄绵土;间歇降雨;盐分运移;降雨响应

中图分类号:TU411

文献标识码:A

Salt Transport Law of Loessial Soil Containing Spherical Microplastics Under Different Rainfall Conditions

CHEN Liang^{1,2,3}, XU Canwei^{1,2*}, SI Pengju^{1,2}

(1. College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China; 2. Key Laboratory of Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China; 3. Tibet Agricultural and Animal Husbandry University, Nyingchi, Tibet 860000, China)

Abstract: In order to study the law of salt transport in loessial soil with different particle sizes and contents of spherical microplastics under different rainfall conditions, a vertical infiltration experiment was carried out by using the indoor one-dimensional soil column model, and the scatter diagram of the infiltration conductivity of soil columns with different contents and particle sizes of microplastics under different rainfall conditions was obtained. The results showed that a low content of microplastics in loessial soil significantly promoted the infiltration of NaCl solution, while a high content of microplastics blocked the infiltration of NaCl solution, and the rainfall conditions changed the critical content of microplastics. In loessial soil, a slightly smaller particle size of microplastics significantly promoted the infiltration of NaCl solution, and a slightly larger particle size of microplastics blocked the infiltration of NaCl solution. The microplastics with lower content and smaller particle size are more sensitive to the rainfall response.

Key words: microplastics; loessial soil; intermittent rainfall; salt transport; rainfall response

改革开放以来,我国农业有了长足的发展,但仍存在诸多缺陷,农业精细化程度低,农药化肥使用量高,地膜等塑料制品回收率低,导致农田土壤中存在大量的污染物^[1]。据生态环境部统计^[2],

2011年我国废弃塑料总量近 2×10^8 t,回收量为 1.5×10^7 t,回收率不到10%。全球的塑料产量从2005年的 2.30×10^8 t到2019年增长为 3.48×10^8 t^[3],大部分塑料被填埋或丢弃在土壤环境中,危害生

收稿日期:2023-04-01

基金项目:国家自然科学基金资助项目(U2243244)

作者简介:陈亮(1976-),男,江苏徐州人,博士,教授,主要从事岩土渗流理论与测试方面的研究。

* 通讯作者:徐灿玮(1999-),男,浙江温州人,硕士研究生,从事岩土渗流方面的研究。

态环境。微塑料 (Microplastics) 主要是指粒径 <5 mm 的塑料颗粒^[4]。微塑料在生态系统中以初级微塑料 (人造微材料) 或次级微塑料 (由较大的塑料垃圾分解而产生) 的形式存在^[5]。有关研究指出, 陆地中存在的微塑料丰度可能是海洋的 4~23 倍, 土壤中的微塑料越来越受到关注, 土壤中微塑料污染问题已被列为环境与生态领域的第二大科学问题^[6-7]。

微塑料污染以及其对土壤理化性质产生影响的问题, 目前已有许多专家学者开展过深入研究。德国科学家 Rillig^[8] 是世界上最早关注土壤中微塑料的研究者之一, 其研究认为微塑料对土壤微生物活性不利。Wang 等^[9] 研究发现随着薄膜碎片的增加, 土壤中微生物含量与碳、氮的含量显著下降。Liu 等^[10] 的研究表明, 少量微塑料能提高土壤酶活性, 过量则会造成负面影响。Ramos 等^[11] 发现微塑料自身会累积农药, 从而导致土壤理化性质发生改变。

土壤降雨入参与盐分运移的问题, 前人也进行了深入的研究。降雨入渗方面, 覃小华等^[12] 研发的一维土柱垂直入渗模型试验装置能够模拟降雨条件; 李达等^[13] 在一维垂直渗透试验的基础上使用土体瞬时渗透特性测试仪, 在各降雨强度条件下对非饱和砂质土进行试验。土壤盐分运移方面, 例如 Heuer 等^[14] 研究了马铃薯在缺乏生理反应下土壤中水分和盐分的运移情况; 史文娟^[15] 通过室内土柱模拟试验, 研究了水分和盐分在土壤中的运动规律以及覆砂条件下水分和盐分的迁移机理。

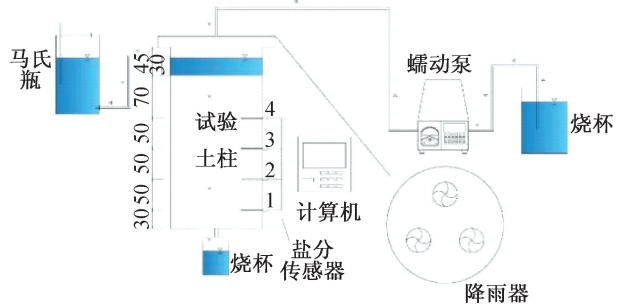
目前关于微塑料对土壤理化性质变化的影响相对较成熟。但是针对含有微塑料的农田土壤中盐分运移的研究相对匮乏, 特别是陕北干旱、半干旱地区的黄绵土相关研究更少。因此研究被微塑料污染的黄绵土的可溶性无机物的运移以此探索微塑料影响可溶性无机物的迁移规律有利于黄绵土地区的农业生产。因此, 本文设计降雨入渗试验仪器以及试验方案, 选取 NaCl 作为可溶性污染物, 研究不同降雨条件下含有球状微塑料的黄绵土可溶性无机物运移规律。

1 试验仪器与方案

1.1 降雨入渗试验仪器

本试验所用的仪器见图 1, 一维垂直槽用于装填试验土柱, 材质为透明有机玻璃, 高 295 mm, 槽

壁厚 5 mm, 内径为 140 mm, 底部正中为排水口。降雨系统分为蠕动泵和降雨器, 蠕动泵调节出水量, 降雨器将蠕动泵的出水转换为均匀降雨。



(a) 降雨入渗试验结构示意图



(b) 实验仪器实物图

图 1 降雨入渗室内仪器图

Fig. 1 Schematic diagram of rainfall infiltration test device

如图 1(a) 所示, 土壤电导率传感器用于测量土壤盐分, 每个传感器间隔 50 mm, 编号从下到上依次为 1#、2#、3#、4#。试验土柱高 250 mm, 顶部留有约 45 mm 空间, 侧边贴上刻度尺用于观察土壤积水情况。

试验中采用电导率传感器来检测土壤中盐分的运移情况, 通过测量土壤电导率值的大小来反应土壤中盐分浓度的大小, 二者为线性正比关系, 即土壤电导率值越大, 土壤含盐量也就越高。

1.2 降雨入渗试验材料

1.2.1 试验土样

此次试验选取陕北用于耕种的黄绵土, 并采用密度浮选法湿洗土样, 以排除土样中的杂质对实验结果的影响。所选黄绵土土壤颗粒组成为黏

粒 5.53%、粉砂粒 19.32%、细砂粒 71.97%、粗砂粒 3.18%。

1.2.2 试验微塑料

本试验所用微塑料为科迈新材料有限公司生产的分选性、稳定性较好的球状聚苯乙烯(ps)微球,微球的粒径偏差 $<10\%$,聚苯乙烯微球具体规格信息见表1所示。

表1 聚苯乙烯微球产品规格

Tab.1 Specifications of polystyrene microspheres products

成分	粒径/ μm	密度 $/(g \cdot \text{cm}^{-3})$	分解温度/ $^{\circ}\text{C}$	外观
聚苯乙烯	3,5,8	1.06	>380	白色

1.3 降雨入渗试验方案

为研究不同降雨条件下,微塑料含量与粒径对黄绵土盐分运移的变化规律。选取微塑料含量为0.00%、0.05%、0.10%、0.25%和0.50%,微塑料粒径为3、5、8 μm ,NaCl溶液浓度为45 g/200 g(NaCl质量/水质量)。

1.3.1 均匀降雨条件

在均匀降雨条件下,试验开始时先将传感器清零,再将NaCl溶液通过降雨器均匀地入渗到土体内部,直至雨水入渗到土柱底部停止试验,即1#探头检测到电导率峰值时停止试验,具体的试验组别如表2所示。

表2 均匀降雨条件试验方案

Tab.2 Test plan under uniform rainfall conditions

组别	降雨强度 $/(mm \cdot \text{h}^{-1})$	微塑料含量 g /%	微塑料粒径 d $/\mu\text{m}$
1	20	0.00	5
2	20	0.05	5
3	20	0.10	5
4	20	0.25	5
5	20	0.50	5
6	20	0.25	3
7	20	0.25	5
8	20	0.25	8

如表2所示,组别1—5研究的是均匀降雨条件下微塑料含量对黄绵土盐分运移的影响,组别6—8研究的是均匀降雨条件下微塑料粒径对黄绵土盐分运移的影响。

1.3.2 间歇降雨条件

为研究间歇降雨条件下不同降雨间歇比、微塑料含量与粒径对含有微塑料的黄绵土盐分运移的影响,选取降雨间歇比为1:2(降雨30 min:停

歇60 min)、1:1(降雨30 min:停歇30 min)和2:1(降雨60 min:停歇30 min),微塑料含量 $g=0.25\%$ 、微塑料粒径 $d=5 \mu\text{m}$,NaCl溶液浓度为45 g/200 g(NaCl质量/水质量),试验开始先将传感器清零,再将NaCl溶液通过降雨器按照降雨间歇比控制降雨时间,直至雨水入渗到土柱底部试验停止,具体试验组别如表3所示。

表3 间歇降雨条件试验方案

Tab.3 Test plan under intermittent rainfall conditions

组别	降雨 间歇比 λ	微塑料 含量 $g/\%$	微塑料 粒径 $d/\mu\text{m}$
9	1:2	0.25	5
10	1:1	0.25	5
11	2:1	0.25	5
12	1:1	0.00	5
13	1:1	0.05	5
14	1:1	0.10	5
15	1:1	0.25	5
16	1:1	0.50	5
17	1:1	0.10	3
18	1:1	0.10	5
19	1:1	0.10	8

如表3所示,组别9—11研究的是降雨间歇比对黄绵土盐分运移的影响,组别12—16研究的是间歇降雨条件下微塑料含量对黄绵土盐分运移的影响,组别17—19研究的是间歇降雨条件下微塑料粒径对黄绵土盐分运移的影响。

2 降雨入渗试验结果与分析

2.1 均匀降雨条件下黄绵土盐分运移研究

2.1.1 均匀降雨条件下微塑料含量对黄绵土盐分运移的影响

根据上述组别1—5的试验方案,在均匀降雨条件下含有不同微塑料含量的黄绵土NaCl溶液的入渗试验如图2所示。

如图2所示,由于土体电导率和土体盐分浓度为正线性相关,所以土体电导率的变化可以反映土体盐浓度的变化。归纳可知不同微塑料含量下NaCl溶液的入渗试验有如下规律:从单一测点来看,NaCl在土壤中的运移呈现出浓度先增大后减小的特点,且随着测点深度的增加,NaCl浓度峰值逐渐降低。观察五组试验NaCl溶液运移到土柱底部的时间,即记录1#探头检测电导率达到峰值的时间。将其从快到慢排序,微塑料含量分别为0.05%、0.00%、0.10%、0.25%和0.50%。从入渗

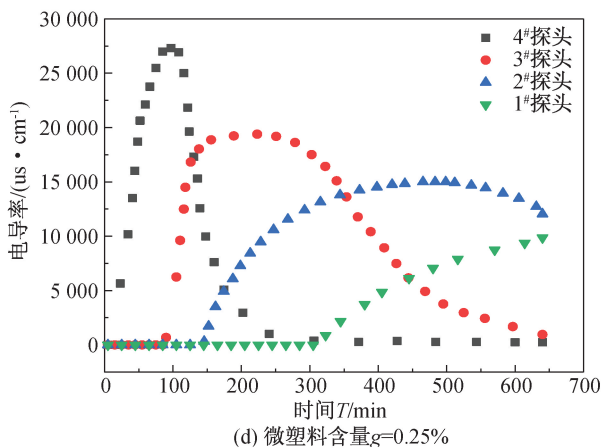
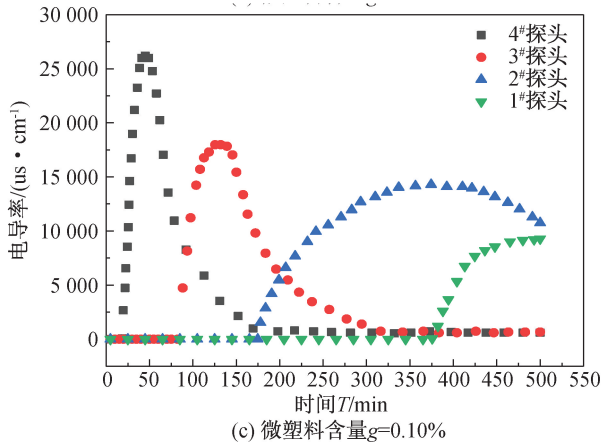
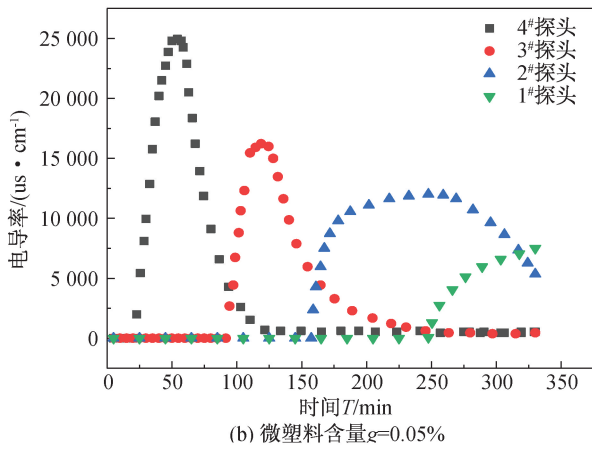
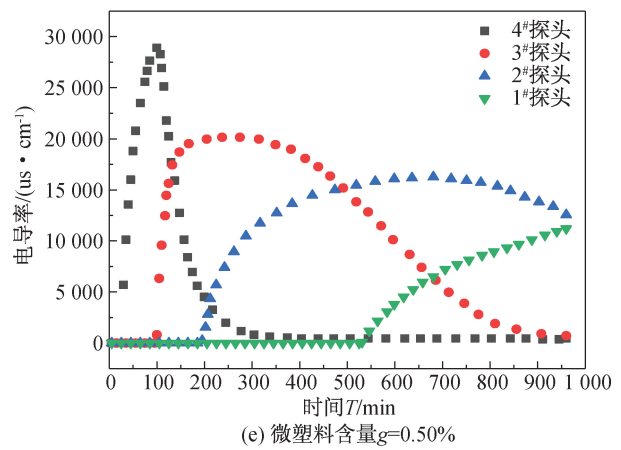
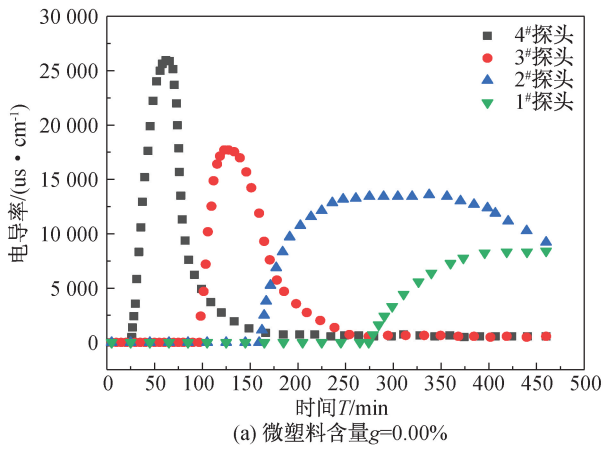


图2 均匀降雨条件下各微塑料含量土柱入渗电导率随时间变化散点图

Fig. 2 Scatter plot of time-dependent electrical conductivity of soil column infiltration with different microplastic contents under uniform rainfall conditions

时间来看,低含量微塑料 NaCl 溶液入渗到土柱底部的时间最短,可知低含量微塑料促进黄绵土中的盐分运移;高含量微塑料阻滞黄绵土中的盐分运移,且随着微塑料含量的增大阻滞效果越强。

记录各个测点 NaCl 溶液峰值浓度持续时间,即记录电导率浮动在其峰值相差 5% 以内的持续时间。归纳为表 4。

表 4 不同微塑料含量下各测点峰值浓度持续时间表 (单位: min)

Tab. 4 Duration of peak concentration at each measuring point under different microplastic contents (unit: min)

测点	微塑料含量 $g/\%$				
	0.00	0.05	0.10	0.25	0.50
4#	19	12	21	41	40
3#	31	17	35	125	200
2#	207	95	218	290	415

不同微塑料含量土柱试验同一测点的峰值浓度如图 3 所示。

由表 4、图 3 可知,黄绵土含有不同微塑料含量时,同一测点的电导率峰值和峰值持续时间不同。将电导率峰值和持续时间从高到低排序,微塑料含量依次为 0.50%、0.25%、0.10%、0.00% 和 0.05%,且随着入渗深度的增加,差异逐渐增大。这是由于低含量微塑料促进黄绵土的盐分入渗,雨水入渗的速率较快,雨水量下渗得较多,盐分从上层快速向下渗透到土柱底层,导致传感器处的 NaCl 溶液峰值浓度持续时间较短且峰值较低。当微塑料含量超过临界值时,随着微塑料含量的增

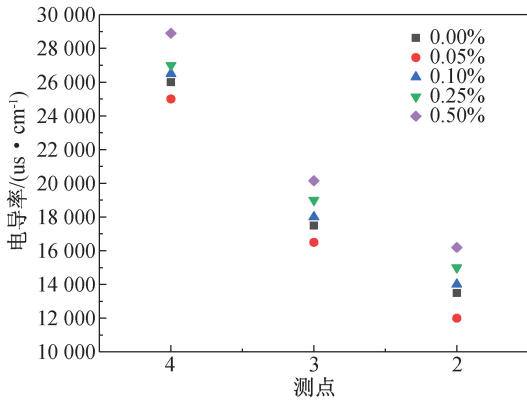


图3 不同微塑料含量同一测点电导率峰值
Fig. 3 Conductivity peaks at the same measuring point with different microplastic contents

大,其峰值电导率值也增大。这是由于高微塑料含量阻碍了黄绵土的盐分入渗,NaCl 被稀释程度较低,所以 NaCl 溶液峰值浓度持续时间增长,峰值电导率值较高。

此现象验证了聚苯乙烯微塑料具有极强的疏水性。将其加入到土壤中,一方面可以填充土壤颗粒骨架间的孔隙,降低孔隙率,发挥黏性颗粒的阻水作用,另一方面又可以利用其自身的疏水特性。这两种效应相互矛盾,且随微塑料含量的增加,其疏水性逐渐减弱,阻水性逐渐增强。

各个测点的峰值浓度持续时间拟合曲线,采用指数函数 $y = a \times b^x$,对各微塑料含量的峰值浓度持续时间进行拟合,可得图 4。

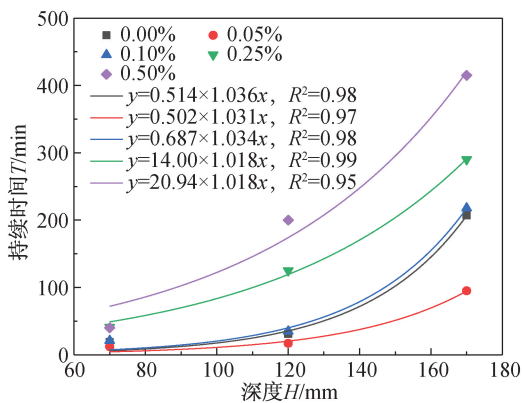


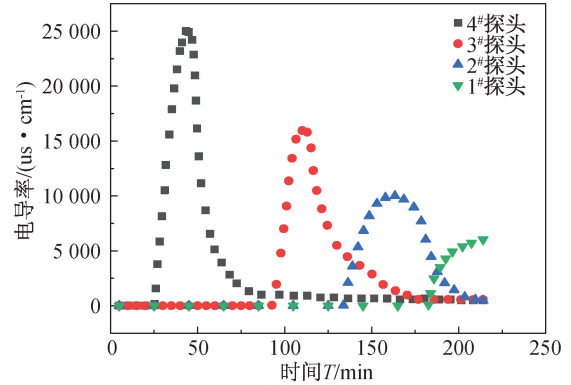
图4 各个观测点的电导率峰值浓度持续时间拟合曲线
Fig. 4 Fitting curve of peak concentration duration time at each observation point

由图 4 可知,参数 b 与微塑料粒径无关,故参数 b 取五种微塑料粒径下的平均值 $b = (1.015 + 1.031 + 1.034 + 1.018 + 1.018) / 5 = 1.023$,参数 a 值需要根据微塑料的粒径进行室内试验测得。该曲线反应了不同含量微塑料的农耕土的盐分运移规

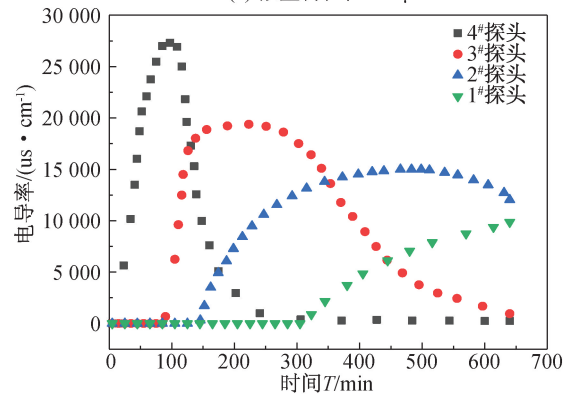
律。曲线越平缓表明土壤的盐分入渗性能越强;反之,越陡峭表明其盐分入渗性能越弱。

2.1.2 均匀降雨条件下微塑料的粒径对黄绵土盐分运移的影响

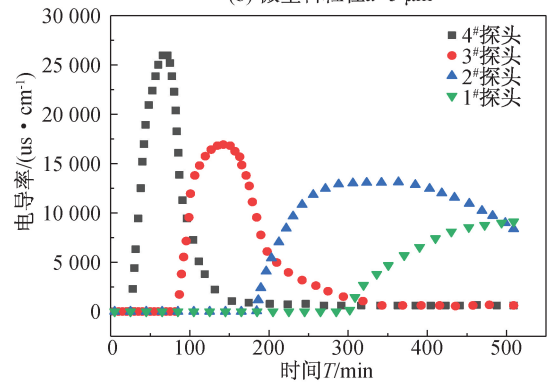
根据组别 6—8 的试验方案,在均匀降雨条件下含有不同微塑料粒径的黄绵土 NaCl 溶液的入渗试验如图 5 所示。



(a) 微塑料粒径 $d = 3 \mu\text{m}$



(b) 微塑料粒径 $d = 5 \mu\text{m}$



(c) 微塑料粒径 $d = 8 \mu\text{m}$

图5 均匀降雨条件下各微塑料粒径的土柱入渗电导率随时间变化散点图

Fig. 5 Scatter plot of time-dependent electrical conductivity of soil column infiltration with different microplastic particle sizes under uniform rainfall conditions

由图 5 分析可知,不同微塑料粒径下 NaCl 溶液的入渗试验有如下规律:从单一测点来看,NaCl 在土壤中的运移呈现出浓度先增大后减小的特

点,且随着测点深度的增加 NaCl 浓度峰值逐渐降低。观察三组试验 NaCl 溶液运移到土柱底部的时间,从低到高排序,微塑料粒径 d 为 3、8、5 μm 。相较于空白对照组来说,稍小粒径微塑料($d=3 \mu\text{m}$)显著促进黄绵土中的盐分运移下渗,稍大粒径微塑料($d=5, 8 \mu\text{m}$)阻滞 NaCl 的入渗,其微塑料粒径为 5 μm 时阻滞效果更显著。

表 5 不同微塑料粒径下不同测点峰值浓度持续时间表
(单位: min)

Tab. 5 Duration of peak concentration at each measuring point under different microplastic particle sizes (unit: min)

测点	微塑料粒径 $d/\mu\text{m}$		
	3	5	8
4#	6	41	15
3#	12	125	43
2#	26	290	178

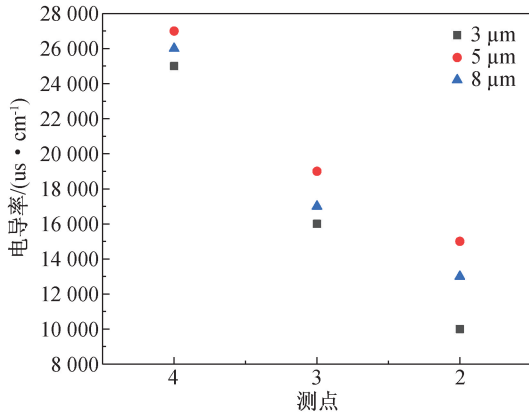


图 6 不同微塑料粒径同一测点电导率峰值

Fig. 6 Conductivity peaks at the same measuring point with different microplastic contents

由表 5、图 6 可知,黄绵土含有不同微塑料粒径时,同一测点的电导率峰值和峰值持续时间不同,从高到低排序,微塑料粒径 d 依次为 5、8 和 3 μm 。其中微塑料粒径 $d=3 \mu\text{m}$ 的试验土样电导率峰值和峰值持续时间最低,这是由于相同质量百分比下其颗粒数较多,土体的基质吸力较大,越有利于水分和盐分在土体内部迁移。当微塑料粒径 $d=5, 8 \mu\text{m}$, 由于其阻滞雨水和盐分的入渗,入渗速率低,入渗水量小,所以其峰值电导率峰值和持续时间较大。其次随着入渗深度的增加,相同测点的电导率峰值差异逐渐增大。

各个测点的峰值浓度持续时间拟合曲线,采用指数函数 $y = a \times b^x$, 对各微塑料粒径的峰值浓度持续时间进行拟合,可得图 7。

由图 7 可知,参数 b 基本不随微塑料粒径的变

化而变化,因此参数 b 取三种微塑料粒径下的平均值 $b = (1.015 + 1.018 + 1.028) / 3 = 1.02$, 参数 a 的值需要根据微塑料粒径进行室内试验测得。该曲线反应了不同粒径微塑料的农耕土的盐分运移规律。曲线越平缓表明土壤的盐分入渗性能越强;反之,越陡峭表明其盐分入渗性能越弱。

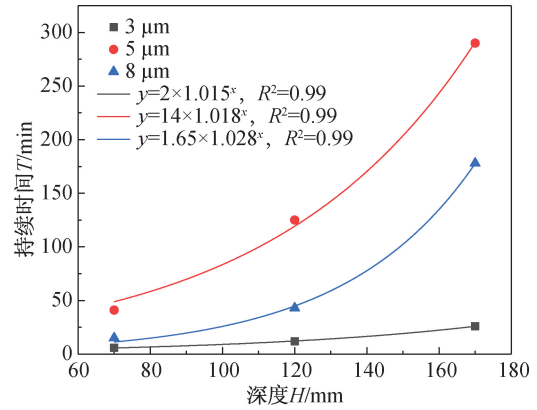


图 7 各个观测点的峰值浓度持续时间拟合

Fig. 7 Fitting curve of peak concentration duration time for each observation point

2.2 间歇降雨条件下黄绵土盐分运移研究

2.2.1 不同降雨间歇比 λ 对黄绵土盐分运移的影响

根据上述组别 9—11 的试验方案,选取降雨间歇比 λ 为 1 : 2 (降雨 30 min; 停歇 60 min)、1 : 1 (降雨 30 min; 停歇 30 min) 和 2 : 1 (降雨 60 min; 停歇 30 min), 在不同降雨间歇比条件下含有微塑料的黄绵土 NaCl 溶液的入渗试验如图 8 所示:

由图 8 可知不同降雨间歇比下 NaCl 溶液的入渗试验有如下规律:

从单一测点电导率的变化来看,NaCl 溶液在土壤中的运移规律呈现先增大后减小的趋势,同时随着入渗深度的增加,NaCl 溶液浓度峰值逐渐降低,且各个测点之间降低的幅度逐渐减小。与均匀降雨条件下的电导率变化基本一致。

第一个测点(4#探头)的电导率时程曲线会明显表现出对降雨条件变化的响应(曲线会出现起伏波动)。而在降雨间歇比 $\lambda = 1 : 2$ 时,第二个测点(3#探头)也有轻微的降雨响应。随着测点深度的增加,NaCl 溶液达到峰值后的持续时间逐渐增加。总体表现为随着降雨间歇比比值的增大,峰值浓度持续时间逐渐增加。4#测点由于距离土体表面较近,水分的入渗率和入渗水量相同,此测点的峰值浓度持续时间几乎相同。

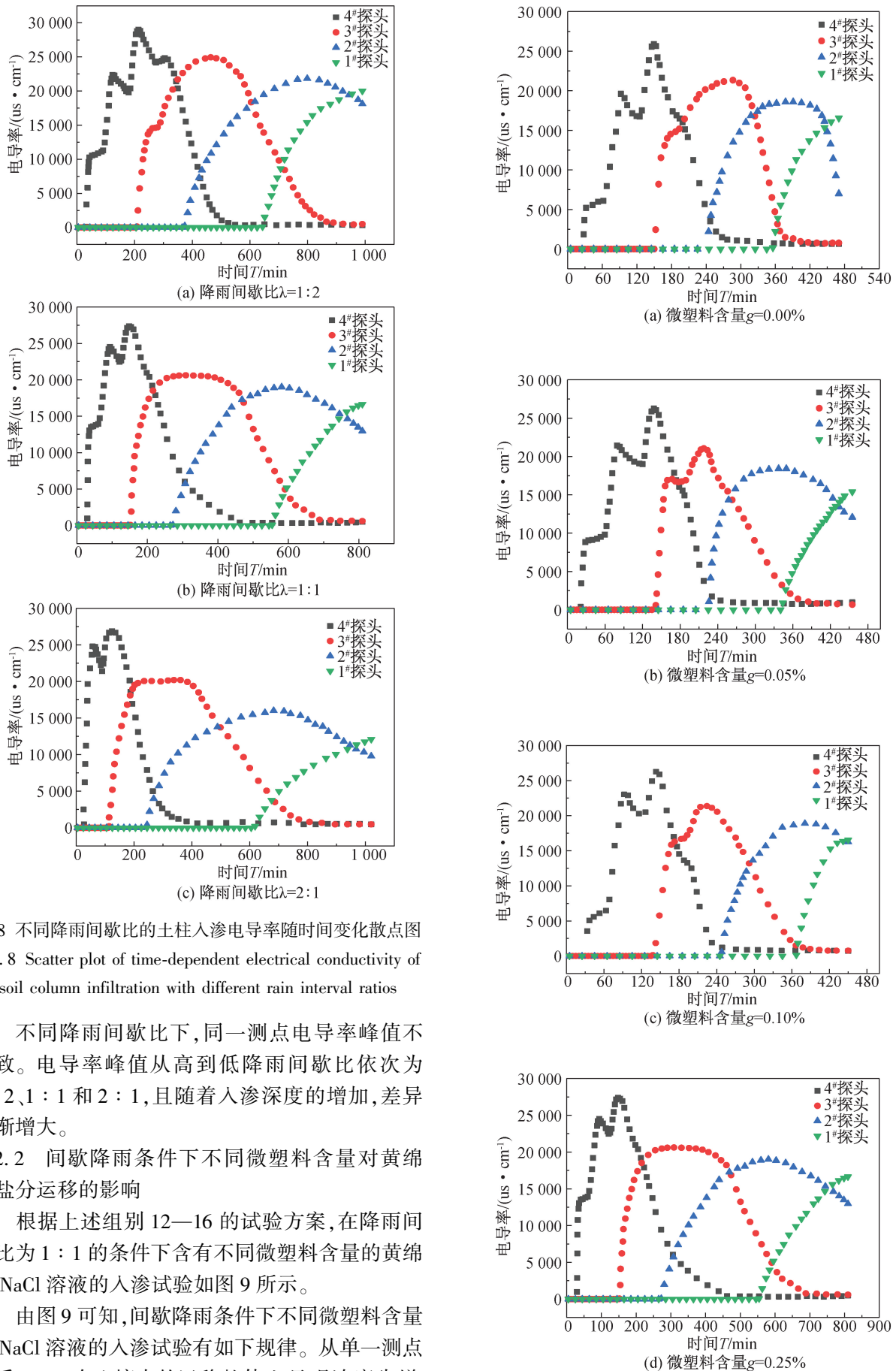


图8 不同降雨间歇比的土柱入渗电导率随时间变化散点图
Fig.8 Scatter plot of time-dependent electrical conductivity of soil column infiltration with different rain interval ratios

不同降雨间歇比下,同一测点电导率峰值不一致。电导率峰值从高到低降雨间歇比依次为 $1:2$ 、 $1:1$ 和 $2:1$,且随着入渗深度的增加,差异逐渐增大。

2.2.2 间歇降雨条件下不同微塑料含量对黄绵土盐分运移的影响

根据上述组别12—16的试验方案,在降雨间歇比为 $1:1$ 的条件下含有不同微塑料含量的黄绵土NaCl溶液的入渗试验如图9所示。

由图9可知,间歇降雨条件下不同微塑料含量下NaCl溶液的入渗试验有如下规律。从单一测点来看,NaCl在土壤中的运移整体上呈现浓度先增

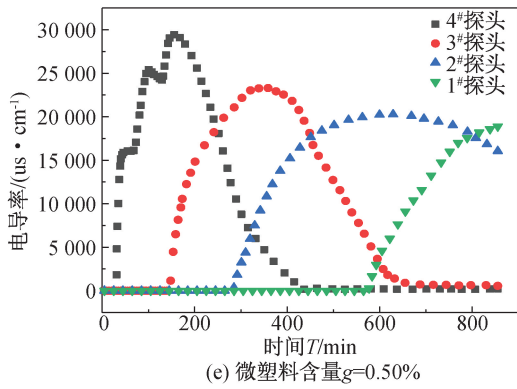


图 9 间歇降雨条件下各微塑料含量土柱入渗电导率随时间变化散点图

Fig. 9 Scatter plot of time-dependent electrical conductivity of soil column infiltration with different microplastic contents under intermittent rainfall conditions

大后减小的趋势,且随着测点深度的增加,NaCl 溶液的峰值浓度逐渐降低,且各个测点之间降低的幅度逐渐减小。

在间歇降雨条件下,土体 NaCl 溶液的入渗在 4#测点处均表现出对降雨条件变化的响应。低含量微塑料,由于 NaCl 入渗速度较快,在 3#测点电导率上升阶段也表现出对降雨条件变化的响应,但是响应不显著。而高含量微塑料,3#测点对降雨条件变化无响应。

NaCl 溶液在土壤中的下渗时间,由快到慢排序,微塑料含量分别为 0.05%、0.10%、0.00%、0.25%和 0.50%。结果可知在间歇降雨条件下,低含量微塑料促进盐分下渗,高含量微塑料抑制盐分下渗的规律不变。从微塑料含量 $g=0.10\%$ 下渗速度快于空白对照组的数据可知,间歇降雨条件下促进盐分下渗的微塑料临界含量对比均匀降雨条件下的微塑料临界含量有所上升。这说明间歇降雨条件使得聚苯乙烯微塑料的疏水性更充分发挥,抵消了自身阻水性的作用。

间歇降雨条件下黄绵土含有不同微塑料含量时,同一测点电导率峰值不一样,电导率峰值从高到低排序,微塑料含量依次为 0.50%、0.25%、0.00%、0.05%和 0.10%,且随着入渗深度的增加,差异逐渐增大。间歇降雨条件下,各个测点峰值电导率的值均比均匀降雨条件下的高,且随着测点深度的增加,差距越来越大。

2.2.3 间歇降雨条件下不同微塑料粒径对黄绵土盐分运移的影响

根据上述组别 17—19 的试验方案,在降雨间

歇比为 1 : 1 的条件下,含有不同微塑料粒径的黄绵土 NaCl 溶液的入渗试验如图 10 所示。

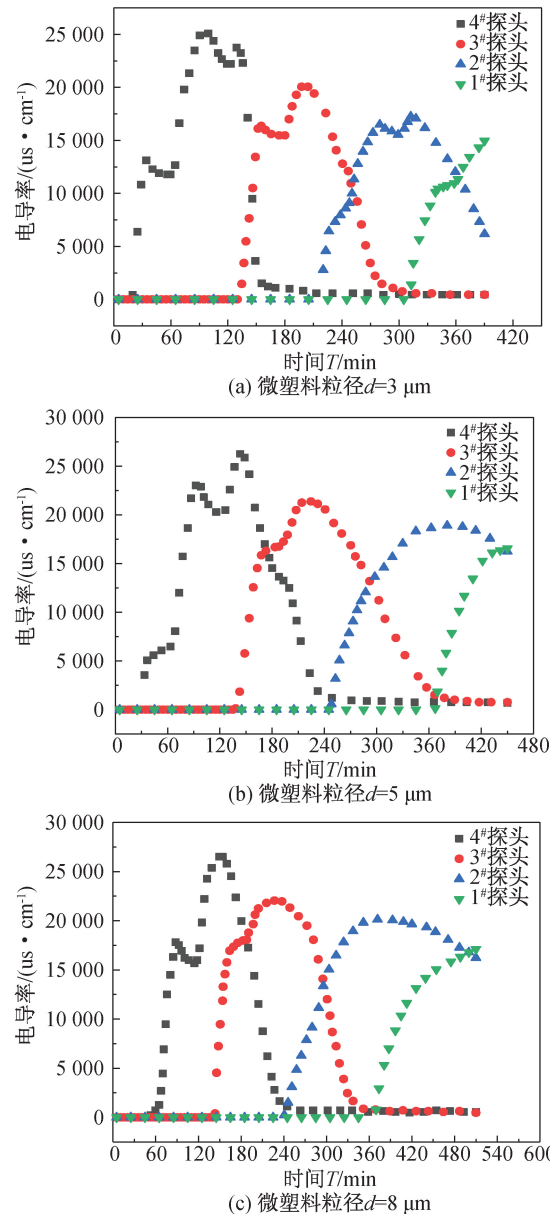


图 10 间歇降雨条件下各微塑料粒径的土柱入渗电导率随时间变化散点图

Fig. 10 Scatter plot of time-dependent electrical conductivity of soil column infiltration with different microplastic particle sizes under intermittent rainfall conditions

由图 10 可知,间歇降雨条件下含有不同微塑料粒径的黄绵土 NaCl 溶液的入渗试验有如下规律。从单一测点电导率的变化趋势来看,NaCl 溶液在土壤中的运移趋势整体上呈现出浓度先增大后减小的趋势。同时随着测点深度的增加,NaCl 峰值浓度逐渐降低,各个测点之间降低幅度逐渐减小。与均匀降雨条件下的电导率变化基本一致。

NaCl 溶液到达土柱底部的时间从高到低排

序,微塑料粒径分别为8、5、3 μm 。从总的入渗时间来看,间歇降雨条件下微塑料粒径越小,NaCl溶液入渗到土柱底部的时间越短,越促进NaCl溶液在黄绵土中的下渗运移。

间歇降雨条件下,三种微塑料粒径下黄绵土土柱不同测点电导率对降雨条件的变化表现出不同程度的响应。其中稍小粒径微塑料($d=3\ \mu\text{m}$)的土柱试验,四个测点的电导率时程曲线均捕捉到对降雨条件变化的响应,且随着测点距离土体表面的距离越近,这种响应越剧烈,响应延迟越小。稍大粒径微塑料($d=5、8\ \mu\text{m}$),只有上面两个测点(4#和3#测点)捕捉到这种响应,下面两个测点(2#和1#测点)没有捕捉到。

同一测点在不同微塑料粒径下,电导率峰值和持续时间不一样。从高到低排序,微塑料粒径依次为8、5和3 μm ,且随着入渗深度的增加,差异逐渐增大。这与其雨水入渗的速率紧密相关,微塑料粒径为3 μm 时,显著促进雨水的入渗,NaCl溶液被严重稀释,故其峰值浓度较低。反之,则雨水入渗的速率较慢,入渗水量较少,NaCl溶液被稀释程度较低,故其峰值电导率较高。

3 结论

1)在各降雨条件下,同一深度的NaCl溶液的运移规律呈现先增大,达到峰值后逐渐降低的规律。且随着深度增加,NaCl溶液的峰值浓度逐渐降低,而峰值浓度持续时间逐渐增加。

2)在各降雨条件下,低含量微塑料显著促进NaCl溶液的入渗,高含量微塑料阻滞NaCl溶液的入渗。且在间歇降雨条件下促进溶液入渗的微塑料临界含量相对于均匀降雨条件下的微塑料临界含量会有所上升。

3)稍小粒径微塑料($d=3\ \mu\text{m}$)显著促进NaCl溶液入渗,稍大粒径微塑料($d=5、8\ \mu\text{m}$)阻滞NaCl溶液的入渗。

4)在间歇降雨条件下,低含量和小粒径微塑料由于入渗性能更好,对降雨响应更灵敏,深度更深。降雨间歇比越大,各测点的电导率峰值逐渐降低,峰值持续时间逐渐增加,且随着入渗深度增大,差异逐渐增大。

参考文献:

[1] 邓炜航,屈茂会.我国废旧塑料的废物再利用现状及未来趋势[J].中国资源综合利用,2018,36(4):

75-77.

[2] 翟紫剑,苏航,孟令玺.农业面源污染的危害与治理[J].生态经济,2021,37(6):4.

[3] HUANG Y, LIU Q, JIA W Q, et al. Agricultural Plastic Mulching as a Source of Microplastics in the Terrestrial Environment [J]. Environmental Pollution, 2020, 260: 114096.

[4] WRIGHT S L, KELLY F J. Plastic and Human Health: A Micro Issue? [J]. Environmental Science & Technology, 2017, 51(12): 6634-6647.

[5] ZHAO J M, RAN W, TENG J, et al. Microplastic Pollution in Sediments from the Bohai Sea and the Yellow Sea, China [J]. Science of the Total Environment, 2018, 640: 637-645.

[6] HORTON A A, WALTON A, SPURGEON D J, et al. Microplastics in Freshwater and Terrestrial Environments: Evaluating the Current Understanding to Identify the Knowledge Gaps and Future Research Priorities [J]. Science of the Total Environment, 2017, 586: 127-141.

[7] NIZZETTO L, FUTTER M, LANGAAS S. Are Agricultural Soils Dumps for Microplastics of Urban Origin? [J]. Environmental Science & Technology, 2016, 50(20): 10777-10779.

[8] RILLIG M C, ZIERSCH L, HEMPEL S. Microplastic Transport in Soil by Earthworms [J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 1-6.

[9] WANG J, LV S, ZHANG M, et al. Effects of Plastic Film Residues on Occurrence of Phthalates and Microbial Activity in Soils [J]. Chemosphere, 2016, 151: 171-177.

[10] LIU H, YANG X, LIU G, et al. Response of Soil Dissolved Organic Matter to Microplastic Addition in Chinese Loess Soil [J]. Chemosphere, 2017, 185: 907-917.

[11] RAMOS L, BERENSTEIN G, HUGHES E A, et al. Polyethylene Film Incorporation into the Horticultural Soil of Small Periurban Production Units in Argentina [J]. Science of the Total Environment, 2015, 523: 74-81.

[12] 覃小华,刘东升,宋强辉,等.降雨条件下一维土柱垂直入渗模型试验研究及其渗透系数求解[J].岩石力学与工程学报,2017,36(02):475-484.

[13] 李达,汪时机,李贤,等.非饱和砂质黏性紫色土一维渗透特性试验研究[J].地下空间与工程学报,2020,16(02):373-380.

[14] HEUER B, NADLER A. Physiological Response of Potato Plants to Soil Salinity and Water Deficit [J]. Plant Science, 1998, 137(1):43-51.

[15] 史文娟.蒸发条件下夹砂层土壤水盐运移实验研究[D].西安:西安理工大学,2005.

(责任编辑 周雪梅)