

膜孔肥液自由入渗土壤铵态氮运移和分布特性试验研究

费良军, 脱云飞, 穆红文

(西安理工大学水资源研究所, 陕西 西安 710048)

摘要: 通过室内膜孔肥液自由入渗试验, 观测分析不同入渗时间和再分布过程中铵态氮运移和分布特性, 结果表明: 在肥液自由入渗过程中, 铵态氮锋面运移滞后于土壤水分锋面, 但土壤铵态氮含量和土壤含水率以膜孔为中心向外逐渐减小; 在再分布初期, 土壤铵态氮锋面和土壤水分锋面运移一致, 土壤铵态氮含量和含水率以膜孔为中心向外逐渐减小, 减小的速度变慢, 但随着再分布时间延长, 土壤铵态氮开始硝化成硝态氮, 铵态氮含量减小, 硝态氮含量增加。

关键词: 膜孔; 自由入渗; 铵态氮运移; 分布

中图分类号: S143.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)03-0193-05

膜孔灌是将地膜平铺在畦中, 通过作物的出苗孔和专用灌水孔入渗进行灌溉的节水型地面灌溉技术。目前, 国外对膜孔肥液自由入渗铵态氮运移与转化特性的研究甚少, 而国内缴锡云、王文焰等通过大田试验研究了膜孔入渗特性、田面水流运动特性、灌水技术要素和灌溉质量等, 已取得了大量研究成果^[1]; 门旗等通过室内土槽研究了膜孔灌和膜缝灌田面水流运动特性和综合糙率系数^[2]; 费良军通过室内试验研究了膜孔肥液自由入渗受膜孔直径、土壤初始含水率、土壤容重、肥液浓度、施肥方式和土壤质地的影响状况^[3]; 朱兴华通过室内试验研究认为膜孔灌肥液自由入渗湿润体形状近似于椭球体, 垂直方向湿润锋的运移速度比水平方向的快^[4]; 董玉云通过室内试验研究发现膜孔灌水肥耦合有利于土壤水分运移, 在肥液入渗相同时间内, 肥液入渗湿润锋运移速率比清水入渗的湿润锋运移速率大, 清水入渗是土壤硝态氮的淋洗过程, 在远离膜孔中心一定距离处土壤硝态氮含量分布比较集中^[5]; 张建军、李久生、任理等利用室内模拟试验研究了沙壤土点源灌溉施肥条件下硝态氮和铵态氮的分布规律, 认为同一土壤条件下滴头流量、灌水量和肥液浓度是影响湿润体内硝态氮和铵态氮分布规律三大主要因素^[6]; 侯红雨在建立温室滴灌条件下水氮联合运移数学模型的基础上, 着重对氮素转化运移规律进行了田间试验研究^[7]。本文在前人研究膜孔肥液自由入渗水分运移以及土壤硝态氮运移和分布的基础上, 通过膜孔肥液自由入渗室内试验, 研究肥液入

渗过程中土壤铵态氮运移和分布规律, 希望为膜孔灌施肥肥料的水肥高效利用奠定科学基础。

1 试验装置和方法

1.1 试验装置

膜孔肥液自由入渗室内试验装置如图1所示, 试验土箱采用1 cm厚透明有机玻璃制成, 其长×宽×高为24 cm×24 cm×30 cm。为了便于观测膜孔肥液自由入渗湿润锋运移和变化过程, 根据点源入渗湿润体的对称性, 膜孔装置采用1/4膜孔面积的方形水室, 置于土箱的边角处, 膜孔直径为6.0 cm, 试验供水系统采用带有刻度横截面积为30.5 cm²的透明有机玻璃制作的马氏瓶进行自动供水。试验时为了防止土壤水分蒸发和铵态氮的挥发, 在土箱上表面覆膜。

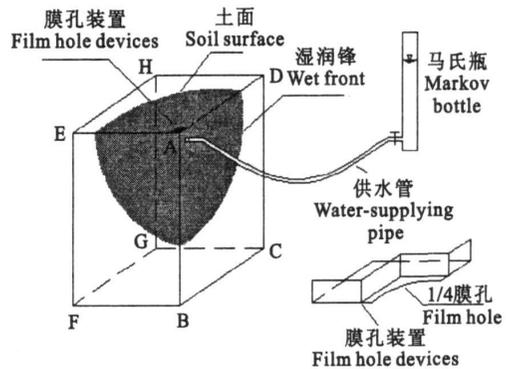


图1 试验装置示意图

Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

收稿日期: 2007-09-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(50579064)

作者简介: 费良军(1963—), 男, 陕西蓝田人, 教授, 博士生导师, 主要从事节水灌溉理论与技术及农业水资源利用研究。

1.2 试验方法

试验土样为西安塬土, 装箱时预设的初始含水率为 9.17%, 饱和含水率为 36.27%, 干容重为 1.3 g/cm^3 , 初始铵态氮的含量为 17.0 mg/kg , pH 值为 7.7。土壤经风干粉筛, 过 2.0 mm 的筛后按预定的土壤容重、含水率和分层厚度为 5.0 cm 装入试验土箱, 对膜孔直径为 6.0 cm , 浓度为 600 mg/L 的硝酸铵溶液进行入渗试验, 180 min 灌水量为 270.14 mL 。

试验时肥液入渗 $10、30、60、180 \text{ min}$ 以及再分布 $1 \text{ h}、6 \text{ h}、1 \text{ d}、3 \text{ d}、5 \text{ d}、7 \text{ d}、10 \text{ d}$ 和 15 d 取土样, 一部分土样用烘干法测定土壤含水率, 另一部分按土水重量比 $1:10$ 加入 $0.01 \text{ mol/L CaCl}_2$ 溶液进行浸提, 振荡 30 min 、悬液静置 30 min 后, 倾出上清液, 用中速无氮定量滤纸过滤, 过滤后的溶液加入活性炭, 取出 2.5 mL 加入 1.0 mL 酒石酸钾钠和 1.5 mL 钠试剂溶液, 再加 40 mL 的蒸馏水得浸提液, 用美国 HACH 公司 DR/4000 型分光光度计测定土壤

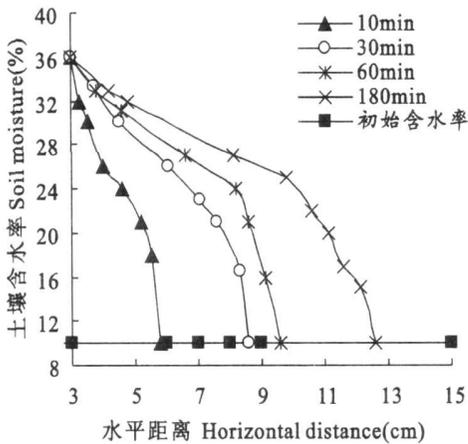


图 2 肥液入渗水平方向土壤含水率曲线

Fig. 2 The curves of soil water content of fertilizer solution infiltration in the horizontal direction

2.2 肥液入渗过程土壤铵态氮运移规律

肥液入渗 $10、30、60 \text{ min}$ 和 180 min 土壤铵态氮含量运移曲线见图 4 和图 5。可以看出, 肥液入渗过程中, 随入渗时间的延长, 水平方向和垂直方向铵态氮运移距离增加, 铵态氮的锋面不断扩大, 土壤铵态氮的含量逐渐减小, 膜孔中心附近水平方向和垂直方向铵态氮含量增大到 620 mg/kg , 铵态氮在水平方向 $0\sim 4 \text{ cm}$ 和垂直方向 $0\sim 2 \text{ cm}$ 范围内运移, 而膜孔中心较远处铵态氮的含量很快降至初始值。在湿润锋的同一深度, 随入渗时间的延长, 土壤铵态氮的含量增加。土壤铵态氮的运移主要由土壤

铵态氮的含量^[8]。

2 入渗过程中铵态氮运移和分布特性

2.1 肥液入渗过程土壤水分运移规律

肥液入渗 $10、30、60 \text{ min}$ 和 180 min 土壤水分运移曲线见图 2 和图 3。可以看出, 膜孔肥液自由入渗过程中, 随入渗时间的延长, 水平方向和垂直方向湿润锋均不断向远离膜孔中心方向运移, 土壤湿润体不断扩大, 土壤含水率随湿润锋运移距离的增加而减小, 湿润锋附近土壤含水率的变化率最大, 其原因是入渗时间越短, 干湿土壤之间的水势梯度越大, 随入渗时间的延长, 运移距离相应增加, 湿润锋处干湿土壤水势梯度逐渐降低, 距离膜孔中心越近, 水平方向和垂直方向土壤含水率越大, 其最大值均达到 36%, 而距离膜孔中心越远, 水平方向和垂直方向土壤含水率越小, 其最小值为土壤初始含水率。在湿润体的同一深度, 随入渗时间的延长, 水平方向和垂直方向的含水率增加。

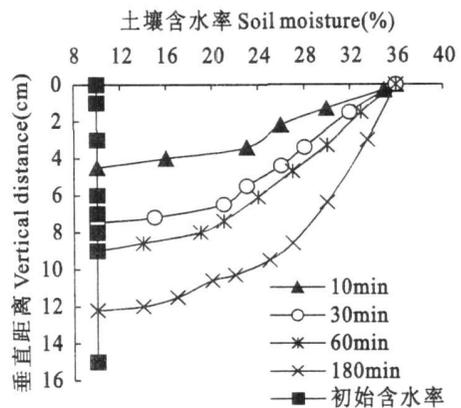


图 3 肥液入渗垂直方向土壤含水率曲线

Fig. 3 The curves of soil water content of fertilizer solution infiltration in the vertical direction

对铵态氮吸附的饱和程度决定, 其在土壤中的运移过程可以分为两个阶段: 在膜孔中心附近, 由于水势梯度很大, 土壤铵态氮随土壤水分在土壤中作饱和流运动, 其运移以对流为主, 运移速度较快, 溶液中的大量铵态氮来不及被土壤吸附随水溶液向前移动, 这一阶段土壤铵态氮以对流运移为主; 随运移距离增加, 土壤水分运移变为不饱和流, 此时, 土壤溶液中铵态氮与土壤胶体颗粒接触后被大量吸附, 使主要通过扩散机理迁移的铵态氮迅速减少, 当土壤对铵态氮的吸附量达到饱和时, 土壤铵态氮在扩散作用下缓慢的向远离膜孔中心的方向运移^[9~11]。

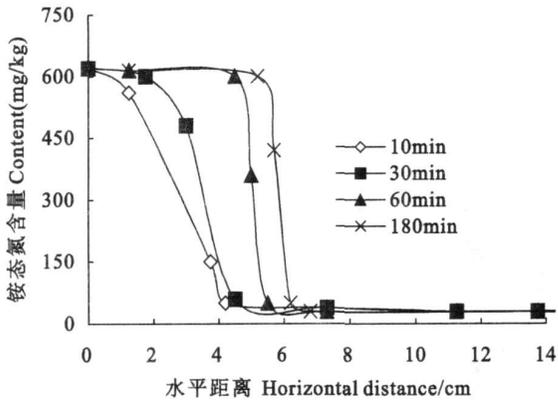


图 4 肥液入渗水平方向铵态氮运移曲线

Fig. 4 The transports curves of of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ fertilizer solution infiltration in horizontal direction

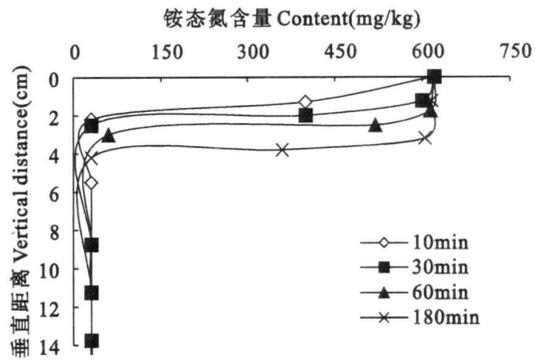


图 5 肥液入渗垂直方向铵态氮运移曲线

Fig. 5 The transports curves of of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ fertilizer solution infiltration in vertical direction

2.3 肥液入渗土壤铵态氮的分布规律

图 6 和图 7 分别表示膜孔中心剖面为膜孔肥液入渗 30 min 和 180 min 的铵态氮分布。与土壤水分运移相比较,土壤铵态氮的分布与土壤水分分布有很大的差异,土壤湿润体的含水率沿膜孔中心向外逐渐减小,湿润锋附近含水率的变化率达到最大,而铵态氮含量剖面等值线图沿远离膜孔中心方向由疏到密分成两个区域,一个为铵态氮含量保持着较

大值不变的区域,另一个为铵态氮含量迅速减小为初始值的区域,这两个区域内铵态氮含量由最大值迅速减小为初始值。当入渗到 30 min 时水平方向 3.8 cm 和垂直方向 1.8 cm 的范围以及入渗到 180 min 时水平方向 5.2 cm 和垂直方向 3.2 cm 的范围内铵态氮的含量明显增大。在湿润体的同一深度,随入渗时间延长土壤铵态氮含量减小。

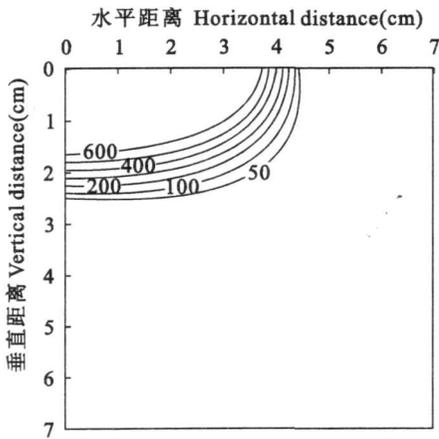


图 6 肥液入渗 30min 铵态氮的分布

Fig.6 The distribution map of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ in fertilizer solution infiltration 30 min

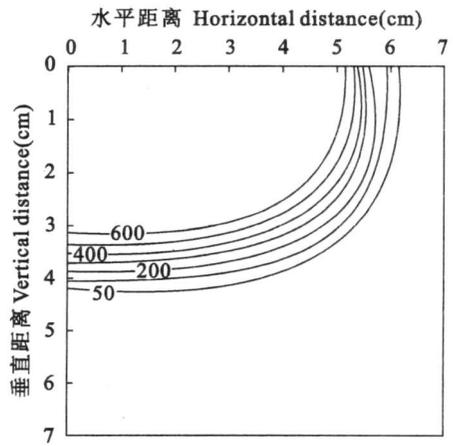


图 7 肥液入渗 180min 铵态氮的分布

Fig.7 The distribution map of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ in fertilizer solution infiltration 180 min

3 再分布过程铵态氮运移和分布

3.1 肥液再分布过程土壤铵态氮运移规律

图 8 和图 9 分别表示再分布过程湿润体水平和垂直方向土壤铵态氮运移曲线。可以看出,不同再分布时间,土壤铵态氮的变化与土壤水分变化不同,在水平方向 0~6.0 cm 和垂直方向 0~5.5 cm 范围

铵态氮含量基本不变,再到水平方向 5.0~6.0 cm 和垂直方向 4.5~5.5 cm 范围铵态氮含量很快减少,湿润体以外范围铵态氮为初始值,说明铵态氮在再分布过程中仍然远远滞后于水分的运动。在湿润体的同一深度,随再分布时间的延长,铵态氮的含量逐渐减小,到再分布结束,铵态氮降至初始值,再分布 7 d 减少了 33%、15 d 减少了 68%、到 20 d 降至

初始值,主要原因是铵态氮在这一范围含量较大,被硝化的能力增大,致使土壤铵态氮含量较小,硝态氮

含量增加。

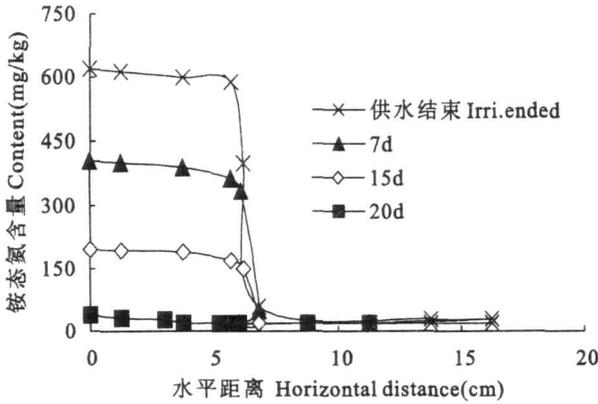


图 8 再分布过程水平方向铵态氮运移曲线

Fig.8 The transports curves of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ of redistribution in horizontal direction

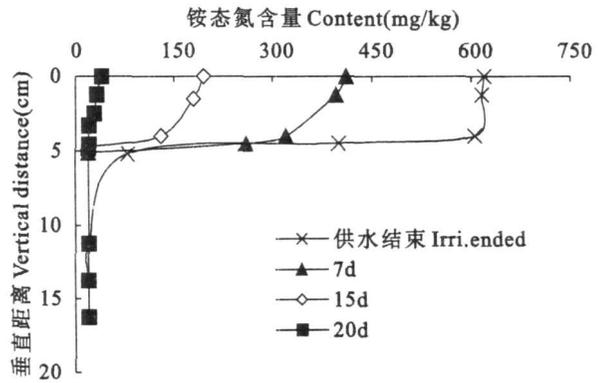


图 9 再分布过程垂直方向铵态氮运移曲线

Fig.9 The transports curves of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ of redistribution in vertical direction

3.2 肥液再分布过程土壤硝态氮分布规律

图 10 和图 11 分别表示再分布过程土壤硝态氮的分布曲线。可以看出,在入渗结束时距离膜孔中心 0~10 cm 范围硝态氮由于受到淋洗其含量降低到初始值以下,在 10~20 cm 范围内铵态氮转化成

硝态氮其含量增加,之后很快降低到初始值。随再分布时间的延长,土壤硝态氮含量不断增加,土壤湿润体不同位置其含量不同,沿膜孔中心位置由近到远其含量先减小后增大。在土壤湿润体同一深度,随再分布时间的延长,土壤硝态氮含量增大。

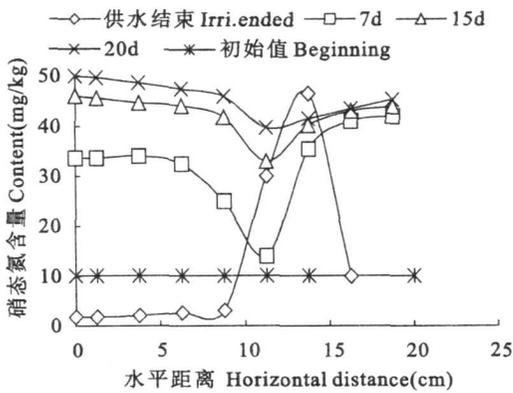


图 10 再分布过程水平方向硝态氮分布曲线

Fig.10 The distribution curves of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ of redistribution in horizontal direction

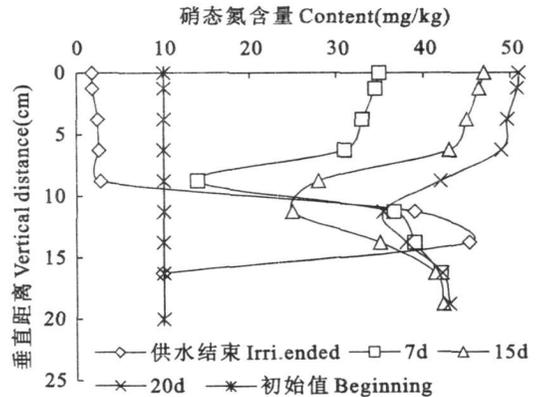


图 11 再分布过程垂直方向硝态氮分布曲线

Fig.11 The distribution curves of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ of redistribution in vertical direction

4 结 语

1) 在膜孔肥液自由入渗和再分布过程中,随时间的延长湿润锋不断向远离膜孔中心方向运移,土壤湿润体不断扩大,形状都为半椭球体,土壤含水率均随湿润锋运移距离的增加而减小,但入渗过程土壤湿润锋附近的土壤含水率的变化率最大,再分布

过程的湿润体比入渗过程的大,再分布过程土壤含水率趋于稳定,在锋面处减小为初始值。

2) 在膜孔肥液自由入渗和再分布过程中,铵态氮运移的主要动力是土壤水势和溶质势。但在入渗过程中,由于铵态氮带正电荷与土壤胶体发生吸附作用,致使铵态氮运移速率比土壤水分运移速率慢,在膜孔中心附近铵态氮的含量最高,铵态氮含量以

膜孔中心由近向远逐渐减小,而再分布过程中,膜孔中心附近饱和铵态氮受到淋洗逐渐减小,距离膜孔较远的地方铵态氮含量增加,最后铵态氮转化成硝态氮而含量又减小,硝态氮的含量增加。

3) 膜孔肥液入渗过程中铵态氮因被土壤胶体吸附而比土壤水分的运移速率小,致使水分锋面比铵态氮的锋面大,铵态氮不是随土壤水分运移,铵态氮含量和土壤含水率以膜孔为中心由近向远逐渐减小;再分布过程中铵态氮随土壤水分运移,铵态氮转化后在湿润体比较稳定。

参考文献:

- [1] 缴锡云,王文焰,张建丰.单点膜孔入渗特性的试验研究[J].水利学报,1997,(7):33-39.
- [2] 门旗.膜孔(缝)沟灌水力和基本参数研究报告[R].乌鲁木齐:新疆农科院土壤肥料研究所,1996.
- [3] 费良军,李发文.膜孔灌单向交汇入渗数学模型研究[J].农业工程学报,2003,19(3):68-71.
- [4] 朱兴华,费良军,吴军虎.单膜孔肥液点源入渗水分特性研究[J].灌溉排水学报,2005,24(6):6-9.
- [5] 董玉云,费良军,穆红文.膜孔单点源肥液入渗运移特性研究[J].沈阳农业大学学报,2006,37(1):70-73.
- [6] 李久生,张建君,任理.滴灌点源施肥灌溉对土壤氮素分布影响的试验研究[J].农业工程学报,2002,18(5):61-66.
- [7] 侯红雨.温室滴灌条件下氮素转化运移规律研究[D].北京:中国农业科学院,2002.
- [8] 弓晓峰,张静,张振辉,等.纳氏试剂比色法测定土壤铵态氮的研究[J].环境科学与技术,2006,29(1):43-44.
- [9] Nommik H, Vahtras, K. Retention and fixation of ammonium and ammonia in soils. in "Nitrogen in Agricultural Soils" (Stevenson, F. J. ed.) [J]. Agronomy, 1982, 22: 123-166.
- [10] 薛泉宏,尉庆丰,高彦.陕西省几种代表性土壤吸附、解吸动力学特征研究[J].土壤学报,1996,33(2):129-137.
- [11] 于天仁,张效年.红壤的物理化学性质[A].李庆速.中国红壤[C].北京:科学出版社,1983.74-90.

Experimentation study on transports and distribution characteristic of without restrict fertile solution infiltration under film hole irrigation

FEI Liang-jun, TUO Yun-fei, MU Hong-wen

(1. Institute of Water Resources of Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: Based on lab experiment on transports and distribution characteristic of NH_4^+-N without restrict fertile solution infiltration under film hole irrigation. The results indicated that in the process without restrict fertile solution infiltration the transports of NH_4^+-N wetting front is slower than that of soil water content, but the content NH_4^+-N and soil water content gradually reduces take the center of film hole as the center. Again in redistributed initial period, the transports of NH_4^+-N and soil water content of wetting front is consistent, the content NH_4^+-N and soil water content gradually reduces take the center of film hole as the center and reduces the speed to slow down, but lengthens again along with the redistributed time, The NH_4^+-N starts to transform NO_3^--N , The NH_4^+-N content reduces and the NO_3^--N content increase, this research for applying fertilizer the irrigation technology of film hole irrigation to establish the technology.

Keywords: film hole irrigation; without restrict infiltration; transports; distribution