

膜孔灌灌施条件下硝态氮迁移分布规律研究

程东娟^{1,2}, 费良军¹, 雷雁斌³, 尹娟¹

(1. 西安理工大学水资源所, 陕西 西安 710048; 2. 河北工程大学, 河北 邯郸 056021; 3. 陕西省水利厅项目办, 陕西 西安 710048)

摘 要: 利用自行研制的膜孔点源入渗装置, 测试膜孔灌灌施条件下硝态氮的迁移和分布规律。结果表明: 在肥液连续入渗过程中, 硝态氮浓度锋运移与水分湿润锋是一致的; 随着距离膜孔中心距离的增加, NO₃-N 含量减小, 在湿润锋位置处土壤 NO₃-N 含量急剧减小到本底值; 进入再分布过程后, 土壤水分运移速度减慢, 整个湿润土体内的含水量分布更加均匀; 再分布 1~7 天内, 硝态氮含量略有下降, 再分布 10 天后, 硝态氮反硝化作用增强, 径向处的反硝化作用弱于垂向处, 硝态氮含量明显降低。

关键词: 膜孔灌; 灌施; 硝态氮; 迁移; 分布

中图分类号: S143.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)01-0237-04

迄今为止, 国内外对膜孔灌灌施肥料条件下的氮素研究很少, 朱兴华^[1]对容重、初始含水量、肥液浓度和膜孔直径对氮素运移和分布作了系统研究, 董玉云^[2]对膜孔灌单点源自由入渗条件下的连续入渗和再分布 24 h 的硝态氮的迁移和分布规律进行了研究, 以上只是在短时间段内对硝态氮的迁移和分布规律进行了研究, 没有涉及到长时间段的氮素迁移转化和分布规律, 而在大田条件下, 在降雨或灌溉的短时间内, 土壤水以饱和流的形式运动, 其后相当长的一段时间内, 土壤水均处于再分布过程中, 在土壤水分再分布的同时, 氮素也进行着再分布和转化, 而关于土壤水再分布过程中硝态氮迁移、转化和分布的研究很少, 仅限于对滴灌施肥的研究^[3], 因此对膜孔灌灌施肥料条件下硝态氮的迁移、转化和分布研究具有重要的理论价值和生产实际意义。

1 材料与方法

为了研究膜孔灌灌施条件下硝态氮迁移转化分布规律, 利用自行研制的膜孔点源入渗装置(见图 1)在室内进行灌施条件下的硝态氮入渗试验。试验土箱采用 10 mm 厚的有机玻璃板制作, 为使试验过程不产生交汇, 试验土箱尺寸为 24 cm×24 cm×30 cm; 为了便于观测湿润锋的发展过程, 将膜孔入渗仪(底部有 1/4 大小的膜孔, 膜孔直径为 6 cm, 即膜孔面积为 28.26 cm²)置于土箱的 A 位置。试验利用带有刻度的截面积为 30.5 cm² 的透明有机玻璃

制作的马氏瓶进行自动供水。试验中所用肥料为硝酸钾, 肥液浓度为 600 mg/L 纯氮。

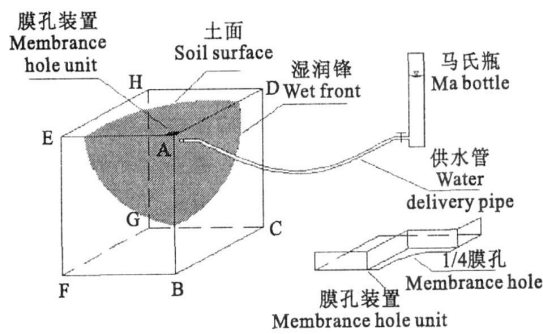


图 1 膜孔灌自由入渗装置

Fig. 1 Device for film hole free infiltration

试验土样采用塋土, 重量含水率为 9.17%, 容重 1.30 g/cm³, 土壤中 NO₃-N 本底值为 8.4 mg/kg, 土样经过风干、粉碎, 过 2 mm 筛子, 按照预定的土壤容重分层(5 cm 厚)装入试验土箱, 对试验土样在膜孔直径为 6 cm 情况下进行灌施硝态氮的膜孔入渗试验。于供水 10、30、60 和 180 min 及供水停止后 1 h、6 h、1 d、3 d、5 d、7 d、10 d 和 15 d 时取土。在土壤剖面沿水平和垂直两个方向按布设的网格取土, 每个取土点 4 个样品, 其中 2 个样品测定土壤水分含量, 2 个样品测定硝态氮含量。土样以 0.01 mol/L CaCl₂ 溶液浸提, 土水质量比 1:10。经过滤、活性炭吸附等处理制成待测液, 采用 HACH 公司生产的 DR/4000 型紫外分光光度计测定硝态氮浓度。

收稿日期: 2006-10-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(50579064, 50179030); 陕西省高校重点实验室重点科研项目(30JS041)

作者简介: 程东娟(1975—), 女, 河北唐山人, 讲师, 在读博士, 主要研究方向为节水灌溉、农业水资源利用与水环境。

2 肥液连续入渗过程中硝态氮的迁移和分布

2.1 肥液连续入渗过程中土壤水分运移规律

图 2 和图 3 为肥液连续入渗时间为 10、30、60 和 180 min 时的含水量在径向和垂直方向分布曲线。可以看出,在肥液连续入渗过程中,随着入渗时间的增加,湿润锋不断向下迁移,湿润体增大。随着

距离膜孔中心距离的增大,土壤含水量减小,观察水分剖面曲线特征,并与充分供水的一维水分剖面曲线比较,以曲线拐点为界,膜孔灌水分剖面可分为两个区,一为含水量逐渐减小区,称为过渡区,另一个为含水量迅速减小为初始值的湿润区。在距离膜孔中心同一距离处,该处含水量随着入渗时间的延长而增大,同一入渗时间下,含水率随着距离增大而减小,由接近饱和含水量减小到初始含水量。

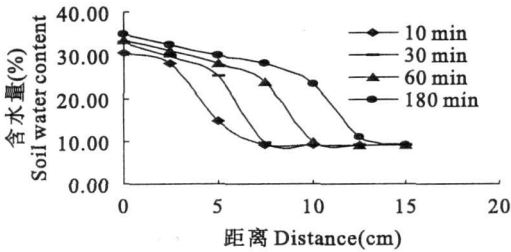


图 2 肥液连续入渗过程中垂向含水量变化

Fig. 2 Change of soil water content in vertical direction in the process of fertilization infiltration

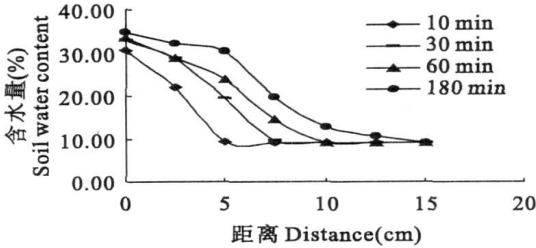


图 3 肥液连续入渗过程中径向含水量变化

Fig. 3 Change of soil water content in horizontal direction in the process of fertilization infiltration

2.2 肥液连续入渗过程中硝态氮运移规律

图 4 和图 5 为肥液连续入渗 10、30、60min 和 180 min 时硝态氮含量在径向和垂直方向分布曲线。可以看出,不同时间连续入渗过程的硝态氮含量剖面曲线形状基本相同,可分为两段,一段在过渡

区,该段硝态氮含量基本不变,另一段在湿润区,该段硝态氮含量剧减至本底值。随着入渗时间的增加,硝态氮浓度锋以活塞形式不断向下运移,随着浓度锋向下的推进,下层硝态氮含量增大。

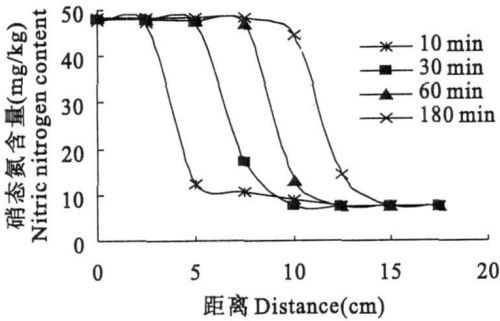


图 4 肥液连续入渗过程中径向硝态氮含量变化

Fig. 4 Change of nitric nitrogen content in horizontal direction in the process of fertilization infiltration

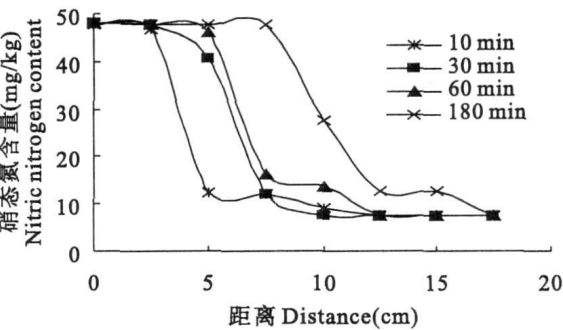


图 5 肥液连续入渗过程中垂向硝态氮含量变化

Fig. 5 Change of nitric nitrogen content in vertical direction in the process of fertilization infiltration

由于硝态氮带负电荷,不易被土壤颗粒吸附,在湿润体内,均可以检测到入渗硝态氮的含量,说明硝态氮的运移主要依靠土壤水分运动作为载体。由图 2 和图 4、图 3 和图 5 可以看出,硝态氮在径向和垂直方向的运移速度和距离与土壤湿润锋在土壤剖面中的前进速度和距离基本保持一致,可以认为肥液连续入渗过程中硝态氮的浓度锋与土壤湿润锋是一致的,表明硝态氮运移行为和水分运移行为之间关系非常密切。但观察图 2 和图 4、图 3 和图 5 可以

看出,虽然含水量和硝态氮含量都随距离膜孔中心距离的增大而减小,但含水量在过渡区减小程度明显大于硝态氮含量减小程度,这可能由于上层溶液在向下运移时对原有土壤中的硝态氮具有淋洗作用,随着溶液向下运移,将上层土壤中原有固体硝态氮溶解并带到下层,导致下层硝态氮含量增大,与上层含量相差较小。

2.3 肥液连续入渗过程中硝态氮分布规律

土壤肥液连续入渗过程硝态氮在土壤剖面的分

布以连续入渗 180 min 时为例说明。由图 6 可以看出,NO₃-N 浓度的分布近似为椭圆形分布,随着距离膜孔中心距离的增大,硝态氮含量减小,硝态氮含量在距离膜孔中心 10 cm 范围内含量几乎不变,在靠近湿润锋附近硝态氮含量急剧减小到本底值。在距膜孔中心相同的距离,径向方向的硝态氮含量大于垂直方向的硝态氮含量,这是因为在径向方向上 0~3 cm 范围在灌施肥液时直接与肥液接触,表明膜孔直径对硝态氮分布有一定影响。

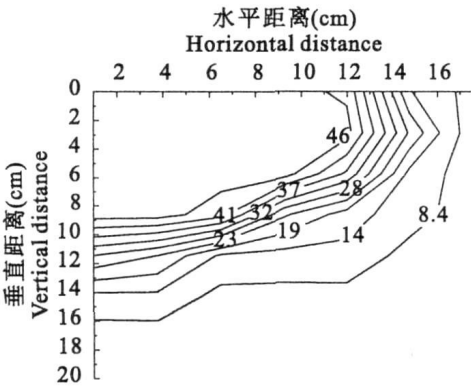


图 6 连续入渗 180 min 硝态氮分布

Fig.6 Distribution of nitric nitrogen in infiltration for 180 min

3 再分布过程中硝态氮的迁移和分布

3.1 再分布过程中土壤水分运移规律

图 7 和图 8 为再分布 1 h、6 h、1 d、3 d、5 d、7 d、10 d 和 15 d 时含水量在径向和垂直方向分布曲线。可以看出,当供水停止后,水分进入再分布过程,在整个深度上脱水—吸水过程交替出现。再分布的初始湿润深度基本为再分布过程中吸水区和脱水区的分界点,随着时间的延长,土壤水分继续向下运移,上层土壤含水量减小,下层土壤含水量增大,湿润范围增大,但运移速度减慢,整个湿润土体内的含水量分布更加均匀。与入渗结束时相比,随着再分布时间的延长,含水率剖面的差异也逐渐缩小,再分布 10 天以后,含水率剖面基本水平。可见,再分布过程将入渗结束后较陡的水分剖面拉直,使之变平缓,土壤剖面含水量也趋于均一^[4]。

3.2 再分布过程中硝态氮的迁移规律

图 9 和图 10 为入渗停止后 1 h、6 h、1 d、3 d、5 d、7 d、10 d 和 15 d 时硝态氮含量在径向和垂直方向分布情况。可以看出,再分布 1~7 d 内,硝态氮运移速度缓慢,硝态氮锋面向下运移距离不到 5 cm,上层土壤硝态氮含量略有减小,湿润锋附近硝态氮含量逐渐增加。再分布 10 天后,土壤硝态氮含

量明显降低,再分布 15 天的硝态氮含量与再分布 10 天的硝态氮含量相差不大。这表明膜孔灌灌施条件下,硝态氮反硝化作用在 1~7 天内很微弱,而在 7~10 天明显增强,10 天后又明显减弱。由再分布 10 天和 15 天硝态氮含量剖面曲线可以看出,硝态氮含量由膜孔中心至 2.5 cm 逐渐减小,含量由 28.8 mg/kg 和 26.2 mg/kg 减小至 11.4 mg/kg,再分布 10 天和 15 天后,硝态氮主要存在 0~2.5 cm 范围内,这表明,表层反硝化作用弱于深层,这主要是深层土壤空气差,土壤处于还原条件。由于下层反硝化作用强,在一定程度上减小了硝态氮在下层的积累,减轻了淋失的可能。

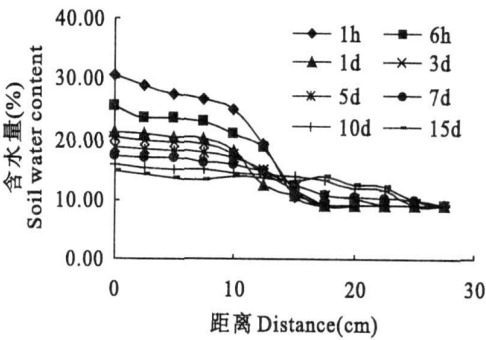


图 7 再分布过程中径向含水量变化

Fig.7 Change of soil water content in horizontal direction in redistribution

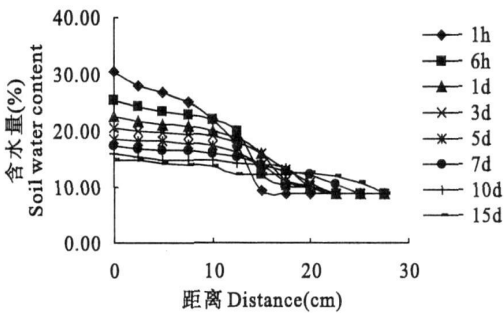


图 8 再分布过程中垂直方向上含水量的变化

Fig.8 Change of soil water content in vertical direction in redistribution

比较土壤水分再分布图和硝态氮再分布图发现,进入再分布过程后,硝态氮再分布与水分再分布存在较大差异,1~7 天内,剖面含水量逐渐减小,而剖面硝态氮含量变化很小,表明进入再分布过程后,硝态氮在土壤剖面运移和转化微弱,这是因为硝态氮运移主要以对流为主,而进入再分布过程后,对流作用减弱,因此硝态氮运移微弱,与水分差别很大。水分再分布 7 天后,土壤剖面的含水量继续减小,硝

态氮含量明显减小,但减小的原因是硝态氮反硝化作用增强,而不是再分布引起。

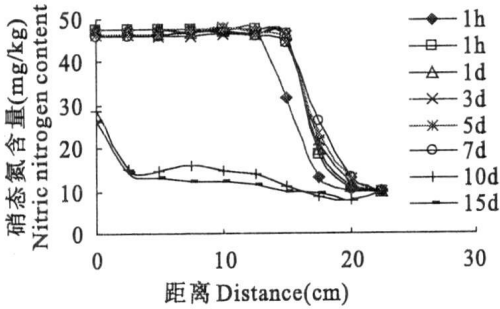


图 9 再分布过程中径向硝态氮含量变化

Fig.9 Change of nitric nitrogen content in horizontal direction in redistribution

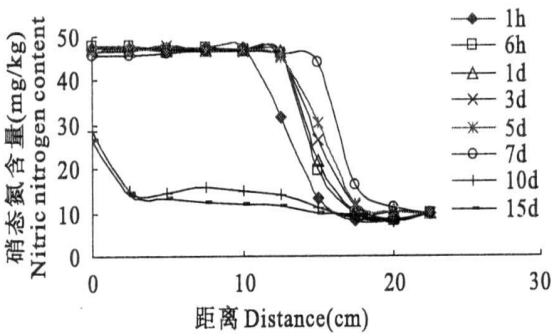


图 10 再分布过程中垂直方向硝态氮含量变化

Fig.10 Change of nitric nitrogen content in vertical direction in redistribution

3.3 再分布过程中硝态氮的分布规律

进入再分布过程后,硝态氮在土壤剖面的分布受时间和空间影响。1~7 天内,硝态氮含量在土壤中的分布情况与连续入渗 180 min 时基本相同。图 11 为再分布 15 天时硝态氮在土壤中的分布情况。由图可以看出,再分布 15 天后,硝态氮含量在径向上和垂直方向上有很大不同。在距膜孔中心 15 cm 范围内,径向上的硝态氮含量明显大于垂直方向上的硝态氮含量,这是因为距离膜孔中心相同距离,垂直方向处的土壤通气状况劣于径向处,反硝化作用强于径向处。再分布过程中下层的硝态氮含量少而上层的硝态氮含量多,硝态氮在土壤剖面的这种分布特点有利于减小肥料损失。

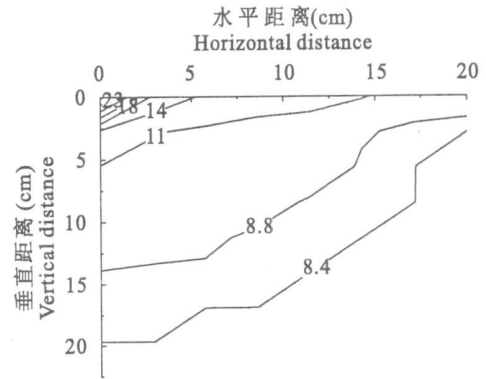


图 11 再分布 15 天硝态氮在土壤剖面中的分布

Fig.11 Distribution of nitric nitrogen in soil profile after 15 d redistribution

4 结 论

1) 在肥液连续入渗过程中,随着入渗时间的延长,湿润锋不断向下迁移,湿润体增大。硝态氮的浓度锋与土壤水分运动的湿润锋是一致的,硝态氮含量的分布近似为椭圆形分布,在靠近湿润锋附近硝态氮含量急剧减小到本底值。

2) 进入再分布过程后,土壤水分继续向下迁移,上层土壤含水量减小,下层土壤含水量增大,整个湿润土体内的含水量分布更加均匀。再分布 1~7 天内,硝态氮含量略有下降,再分布 10 天后,由于反硝化作用,土壤硝态氮含量明显降低,主要在 0~2.5 cm 范围内。

3) 在肥液连续入渗过程中,硝态氮运移行为和水运移行为之间关系非常密切,而在再分布过程中,硝态氮在土壤剖面中的分布与水分分布存在较大差异,尤其在分布 7 天后,硝态氮含量明显降低,这与反硝化作用有关,今后应重点研究反硝化作用对土壤中硝态氮的分布和损失的影响。再分布 7 天后,下层的硝态氮含量少而上层的硝态氮含量多,硝态氮在土壤剖面的这种分布特点有利于减小肥料损失。

参 考 文 献:

- [1] 朱兴华. 施肥条件下膜孔自由入渗水、氮运移特性试验研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2006.
- [2] 董玉云, 费良军, 穆红文. 肥液浓度对单膜孔 $\text{NO}_3\text{-N}$ 入渗运移特性影响的室内试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(5): 204-206.
- [3] 侯红雨. 温室滴灌条件下氮素转化运移规律研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2002.
- [4] 李 毅, 邵明安, 王文焰, 等. 有限深土体中再分布的土壤水盐运移试验研究[J]. 农业工程学报, 2004, (20)3: 40-43.

Analysis of the speed of soil moisture loss in the growth
period of crops in the Loess Plateau of Xifeng

HUANG Bin^{1,2}, ZHANG Hong-fen², QIANG Yu-zhu³

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA; Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province,
Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster, CMA, Lanzhou, Gansu 730020, China;
2. Qingyang Municipal Meteorology Bureau, Xifeng, Gansu 745000, China;
3. Tianshui Municipal Meteorology Bureau, Tianshui, Gansu 741000, China)

Abstract: Data of precipitation and total water content in 0~200 cm soil layer on the 8th day each month from March to November during 1989~2005 is used to analyze the characteristics of the change of annual average soil moisture content, the moisture distribution in every layer in special years, speed of soil moisture loss and its influencing factors in the growth period of winter wheat. The results show: The annual total soil water content changes obviously, and the middle and late 1990s is a period of water deficiency; The amount of annual soil water content in the same layer in the period of crop growth always presents an order of the year with abundant precipitation ≥ the year with normal precipitation > the year with deficient precipitation. For many years the average speed of soil moisture consumption in 0~200 cm soil layer is 1.98 mm/d, with a minimum of 1.40 mm/d and a maximum of 2.54 mm/d, and a difference of 1.81 times between the two; The monthly moisture loss increases gradually from March to May, with a maximum in May, thereafter it begins to reduce; The annual precipitation is the most prominent climate factor influencing the speed of annual soil moisture consumption, passing 0.001 reliable degree examination and reaching extremely prominent relevant levels, while the growth of winter wheat also has a great influence on monthly speed of soil water consumption.

Key words: Xifeng; winter wheat; soil; moisture loss; speed

(上接第 240 页)

Study on the rule of nitric nitrogen movement and distribution
under film hole irrigation with fertilizer

CHENG Dong-juan^{1,2}, FEI Liang-jun¹, LEI Yan-bin³, YIN Juan¹

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;
2. Hebei Engineering University, Handan, Hebei 056021, China;
3. Project Office of Shaanxi Provincial Department of Water Resources, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: Through experiment with self-made device for film hole infiltration, the rule of NO₃⁻-N movement and distribution under film hole irrigation with fertilizer is studied. The results show: the NO₃⁻-N concentration front movement consists with the water wet front movement in the course of water infiltration. The NO₃⁻-N content decreases with the increasing of distance from film hole center. The NO₃⁻-N content decreases abruptly to background value at the wet front; water moves slowly in the course of redistribution and water content distributes uniformly in the whole wet soil body. The NO₃⁻-N content decreases in the early 1~7 days of redistribution. Denitrification is more strongly in vertical indirection than in horizontal indirection and the NO₃⁻-N content decreases distinctly. The research results has laid a foundation for further study of film hole irrigation.

Key words: film hole irrigation; irrigation with fertilizer; nitric nitrogen movement; nitric nitrogen distribution