玉米膜孔灌农田土壤水氮分布特性

曹　俊，费良军，脱云飞
（西安理工大学水资源研究所，陕西 西安 710048）

摘　要：通过大田玉米灌水试验，研究了畦灌和膜孔灌条件下农田土壤水氮运移特性。结果表明：在相同灌水定额条件下，膜孔灌土壤剖面含水率比畦灌土壤剖面含水率变化均匀，0～30 cm 土层灌水后 1 天和灌水后 5 天膜孔灌土壤含水率比畦灌土壤含水率高 19.2%和 18.3%；在相同灌水定额条件下，土壤铵态氮含量受土壤水分运动的影响较小，主要分布在 30 cm 以上土壤层，膜孔灌条件下土壤铵态氮含量随时间分布比畦灌均匀，其含量最大值为 41.6 mg/kg，同畦灌相比铵态氮含量增加了 4.3%；硝态氮含量受灌水方式的影响较大，在相同灌水定额条件下，10～50 cm 各土层硝态氮含量膜孔灌比畦灌分别增加了 41.3%、96.3%、55.3%、50.7%和 46.5%，膜孔灌土壤硝态氮含量随时间和垂直土壤剖面分布均匀，其硝态氮含量主要集中在 0～50 cm 土层，有利于作物对氮素的吸收，提高氮素利用率。

关键词：畦灌；膜孔灌；含水率；铵态氮；硝态氮
中图分类号：S152.7；S158.3；S275　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-7601(2010)01-0016-05

我国是世界上氮肥用量最多的国家之一，但氮肥利用率却仅为 30%～50%[1,2]。膜孔灌改变了传统的灌溉方式，提高了水氮的利用率，膜孔灌技术近年来在我国得到了广泛的应用[3]。目前，尚未见到国外开展膜孔灌方面的研究报道，国内缴锡云等通过大田试验研究了膜孔入渗特性、田面水流运动特性、灌水技术要素和灌水质量等，已取得了大量的研究成果[4]；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[5]；董玉云、费良军等通过室内试验研究表明：膜孔肥液自由入渗湿润锋纵剖面形状曲线符合椭圆方程，湿润锋运移距离随时间的变化符合幂函数方程[6]；贾丽华等通过大田小区试验，研究了不同灌溉施肥方式的土壤硝态运移特性[7]，但目前关于膜孔灌农田氮素的高效利用问题研究不多。因此，本文研究玉米膜孔灌、畦灌农田土壤水氮分布特性，以探讨膜孔灌条件下土壤氮素高效利用的途径。

1　试验条件与方法

1.1　试验条件

试验在西安理工大学教育部西北水资源与环境生态重点实验室露天试验场进行。于 2008 年 5 月 28 日播种，9 月 18 日收获，期间进行了玉米膜孔灌和畦灌农田土壤水分、氮素分布特性的试验观测，玉米品种为户单 4 号。试验土壤质地为粉壤土，土壤颗粒级配组成见表 1，土壤的基本理化性状见表 2。

表 1　土壤的颗粒级配组成

Table 1　Gradation composition of the soil

粒径 Diameter(mm)	<1.0	<0.50	<0.250	<0.10	<0.05	<0.025	<0.01	<0.005	<0.002	<0.001
含量 Content(%)	99.60	99.20	98.87	98.60	89.15	56.58	28.02	11.34	2.88	0.90

表 2　土壤的基本理化参数

Table 2　Physical and chemical properties of soil

有机质(g/kg) Organic matter	全氮(g/kg) Total nitrogen	NO_3^-－N (mg/kg)	NH_4^+－N (mg/kg)	pH	田间持水量(%) Field capacity	平均容重(g/cm³) Mean bulk density
11.08	0.79	4.90	1.70	8.0	22.0	1.40

收稿日期：2009-03-16
基金项目：国家自然科学基金资助项目(50579064)；陕西省重点实验室科研项目(08JZ51)
作者简介：曹　俊(1984—)，男，湖南衡阳人，硕士研究生，从事节水灌溉方面研究。E-mail：caojun30448@163.com。
通讯作者：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。

万方数据

1.2 试验设计与观测方法

试验设畦灌和膜孔灌两种方式。膜孔灌测坑经田面整平后,将地膜覆于其地表,在播种处开膜孔(孔直径为 6.0 cm),也为作物放苗孔。播种前将尿素 300.0 kg/hm^2、磷肥 450.0 kg/hm^{2}和硫酸钾150.0 kg/hm^{2}作为基肥一次性施入地表下10 cm 处。在玉米苗期、拔节期、抽穗期和灌浆期各灌水 1 次,每次灌水定额为 450.0 m^3/hm^2。试验重复 3 次。分别在玉米灌水和追肥后 1 d、5 d、10 d、15 d 和 20 d 距玉米根部 10 cm,用土钻每隔 10 cm 深取土,取土总深度为 80 cm。土样分两部分,一部分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 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,过滤后的溶液一部分用美国 HACH 公司制造的 DR/4000型紫外分光光度计测定土壤硝态氮的浓度;另一部分加入活性炭,取出 2.5 mL 先加 20.0 mL 的蒸馏水,再各加 1.0 mL 酒石酸钾钠和钠试剂溶液,最后加 20.0 mL 的蒸馏水得浸提液,用可见分光光度计测定土壤铵态氮的浓度。

2 结果与分析

2.1 土壤剖面含水量变化特性

土壤含水率高低直接影响作物生长,距玉米根部 10 cm 处膜孔灌和畦灌不同时刻的土壤垂直剖面含水率见图 1、图 2。

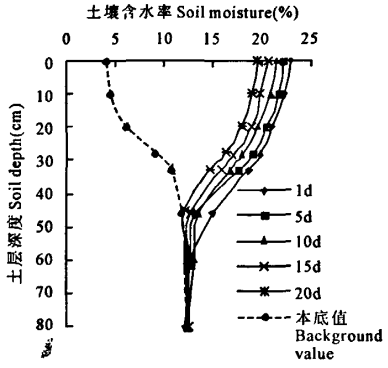

图 1　膜孔灌土壤剖面水分分布曲线

Fig.1　Water content changing curve in soil profile in film hole irrigation

可以看出:土壤含水率随着土层深度和分布时间的增加而减小。膜孔灌灌水后,0~50 cm 土壤剖面含水率变化较大,50 cm 以下的土壤含水率变化不大。膜孔灌土壤含水率随时间波动变化较小,膜孔灌灌水后 1 d、5 d、10 d、15 d 和 20 d,0~30 cm 土壤剖面平均含水率为 20.2%、19.7%、19.2%、17.5%、16.4%,比灌前本底值分别增加了 200.5%、194.0%、186.6%、161.2%和 144.8%。畦灌在相同灌水定额条件下,土壤含水率随着时间变化较大,尤其在土壤表层 0~30 cm 土壤含水率随着时间变化很大,各土层含水率之间相差较大,灌溉水主要增加了 0~40 cm 土壤剖面的含水率,40 cm 以下土壤含水率无明显变化。畦灌灌水后 1 d、5 d、10 d、15 d 和 20 d,0~30 cm 土壤剖面平均含水率为19.1%、17.2%、15.4%、13.2%、12.1%,比灌前本底值分别增加了 197.4%、186.2%、183.5%、157.8% 和 132.6%。灌水后 1 d 和灌水后 5 d 0~30 cm 膜孔灌土壤含水率比畦灌的土壤含水率高 19.2%和 18.3%。由于在相同灌水定额条件下,膜孔灌的灌溉水只能通过作物孔渗入根区土壤,其受水面积远小于畦灌,仅为畦灌受水面积的 1.3%,大大减小了田面土壤的无效湿润面积,使膜孔灌的湿润深度及对土壤含水率的增加幅度均大于畦灌,同时地膜有效地抑制表层土壤的无效蒸发,从而达到保持土壤水分的目的。

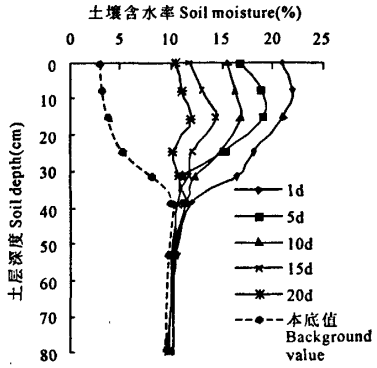

图 2　畦灌土壤剖面水分动态分布曲线

Fig.2　Water content changing curve in soil profile in border irrigation

膜孔灌通过覆膜方式,切断了土壤水直接蒸发进入大气的通道,而膜内土壤温度增高又使汽化的水量增大,水汽凝聚于薄膜壁上,遇冷而形成水珠回落到膜内的土壤中,提高了土壤表层的湿度,消除了畦灌土壤表层含水率的突变现象。膜孔灌与畦灌相比,通过覆膜抑制土壤蒸发,达到提墒、保墒效果;膜孔灌所具有的保水性,使土壤剖面水分分布相对均匀,各土层含水率随时间变化平缓,为作物生长提供了适宜的土壤水分环境。

2.2 土壤剖面铵态氮含量变化特性

对比膜孔灌和畦灌距玉米根部 10 cm 处铵态氮

万方数据

含量分布(图3和图4),铵态氮含量受土壤水分运动影响较小,主要分布在30 cm以上土层。膜孔灌条件下土壤铵态氮含量随时间分布比畦灌均匀,其铵态氮含量在10~30 cm土层动态变化较大,含量较高,最大值出现在10 cm土层,含量为41.6 mg/kg,30 cm以下各土层,铵态氮含量变化相对平缓,含量较小,膜孔灌灌水后1 d、5 d、10 d、15 d和20 d,0~30 cm土壤剖面平均铵态氮含量为39.3 mg/kg、32.3 mg/kg、20.8 mg/kg、15.1 mg/kg和7.6 mg/kg。畦灌土壤铵态氮含量在10~30 cm土层动态变化较大,在30 cm以下各土层变化平缓,但其最大值出现在20 cm处,铵态氮最大含量值为40.8 mg/kg,与膜孔灌相比土壤铵态氮含量减小了4.3%,含量峰值出现的位置下移了10 cm,畦灌灌水后1 d、5 d、10 d、15 d和20 d,0~30 cm土壤剖面平均铵态氮含量为36.88 mg/kg、35.3 mg/kg、14.3 mg/kg、11.8 mg/kg和5.8 mg/kg,土壤铵态氮含量在第10天减少比例最大,比第5天铵态氮含量减少了59.5%。因为畦灌在灌水后,地表裸露,没有地膜的保护作用,土壤表层含水率低,受外界影响大。而膜孔灌因为地膜的作用减少了土壤表面的水分蒸发,使土壤含水率高,且提高了土壤温度,为尿素的水解创造了良好的环境,铵态氮含量在时间上变化比较均匀。

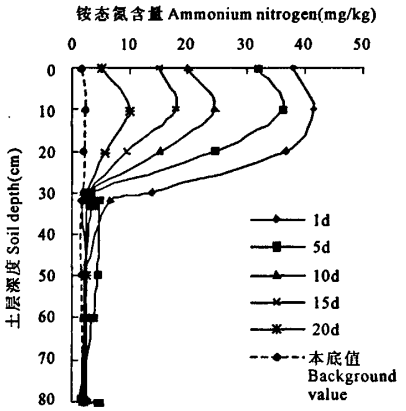

图3 膜孔灌土壤剖面铵态氮含量变化曲线

Fig.3 NH_4^+ - N changing curve in soil profile in film hole irrigation

以上分析表明:相同灌水定额条件下,膜孔灌因对地表土壤具有很好的增温、保墒特性,铵态氮随时间变化比较均匀;畦灌由于没有地膜保护作用,上层土壤蒸发强烈,土壤含水率较小,影响了尿素的水解,铵态氮含量随时间分布比较集中,容易对作物造成毒害作用。

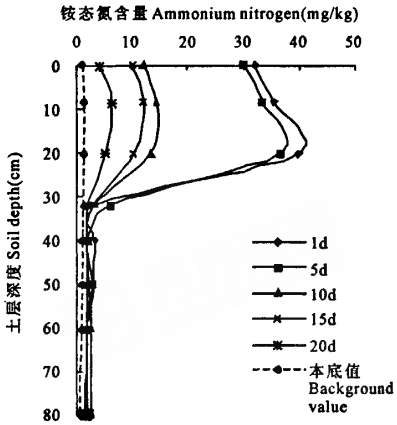

图4 畦灌土壤剖面铵态氮含量变化曲线

Fig.4 NH_4^+ - N changing curve in soil profile in border irrigation

2.3 土壤剖面硝态氮含量变化特性

硝态氮带负电荷,不易吸附于土壤,容易随土壤水分运移。距离玉米根部10 cm处膜孔灌和畦灌土壤剖面硝态氮含量(图5和图6)比较:膜孔灌和畦灌两种灌溉方式对土壤剖面硝态氮的分布影响也较大。膜孔灌由于地膜的覆盖作用,抑制了棵间蒸发,能较长时间维持较高的土壤含水率,硝态氮含量在施肥后第5天表现出迅速增加的趋势,其主要集中分布在10~50 cm土层,最大含量值为44.3 mg/kg,出现在土壤剖面30 cm处。膜孔灌灌水后1 d、5 d、10 d、15 d和20 d,10~50 cm土壤剖面平均硝态氮含量分别为10.6 mg/kg、16.1 mg/kg、21.9 mg/kg、32.1 mg/kg和35.9 mg/kg。畦灌硝态氮含量在施肥后第10天硝态氮含量值增加较快,20 d后土壤剖面硝态氮含量基本保持稳定,土壤硝态氮集中分布在10~40 cm土层,其含量的最大值出现在土壤剖面20 cm处,硝态氮峰值含量为40.1 mg/kg,其硝态氮含量峰值位置较膜孔灌含量峰值位置向上移动了10 cm,畦灌灌水后1 d、5 d、10 d、15 d和20 d,10~50 cm土壤剖面平均硝态氮含量分别为7.5 mg/kg、8.2 mg/kg、14.1 mg/kg、21.3 mg/kg和24.5 mg/kg,与膜孔灌10~50 cm土壤剖面平均硝态氮含量相比分别减少了29.2%、49.1%、35.6%、33.6%和29.2%。因为膜孔灌所具有的持水保墒性,减少了土壤表层水分的蒸发,使土壤剖面水分分布相对均匀,各土层含水量随时间变化平缓,为硝态氮的生成提供了有利条件。而畦灌土壤由于没有地膜保护作用,土壤表层水分大量蒸发,土壤含水率低,不利用硝态氮的生成,同时蒸发引起深层水分向上移动,导致硝态氮也向上移动,不利于作物对氮素的吸收。

万方数据

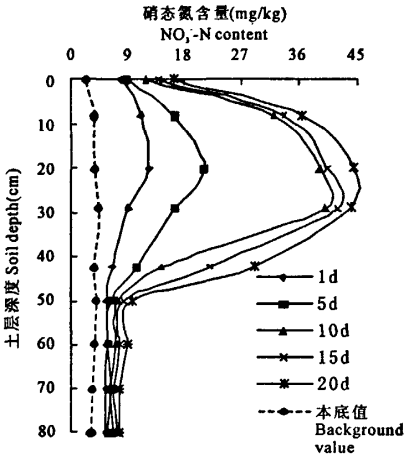

图 5　膜孔灌土壤剖面硝态氮变化曲线

Fig.5　NO_3^- - N changing curve in soil profile in film hole irrigation

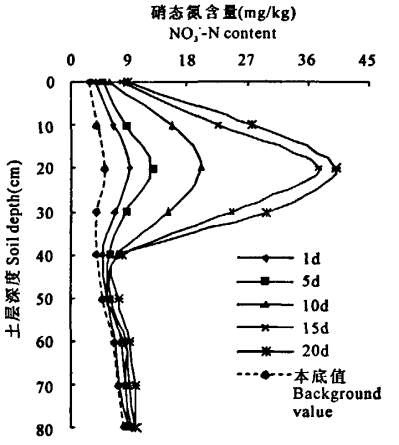

图 6　畦灌土壤剖面硝态氮变化曲

Fig.6　NO_3^- - N changing curve in soil profile in border irrigation

2.4　不同土层土壤硝态氮含量变化特性

图 7 和图 8 分别表示距离根部 10 cm 处膜孔灌和畦灌不同土层硝态氮变化量(硝态氮含量变化量 = 生育期某时间硝态氮含量 - 初始硝态氮含量)随时间(d)变化曲线图。可以看出:膜孔灌与畦灌各土层土壤硝态氮变化量均随着时间的推移逐渐增大。

从图 7 可以看出:膜孔灌土壤硝态氮变化量随时间变化曲线分为两个阶段:第一阶段为施肥后 1 ~ 10 d, 0 ~ 40 cm 土层硝态氮含量快速增加阶段,此阶段 10 cm、20 cm、30 cm 和40 cm 土层在第 10 天硝态氮变化量值比第 1 天硝态氮变化量值分别增加了 186.6%、217.9%、334.8%和 228.4%, 土壤硝态氮

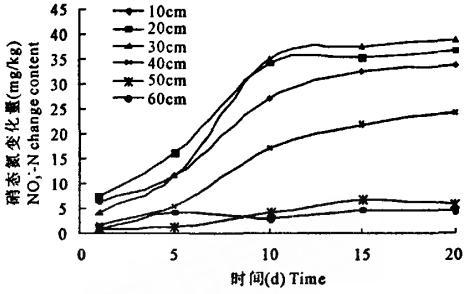

图 7　膜孔灌不同土层硝态氮变化量曲线

Fig.7　NO_3^- - N changing curve of different soil layers in film hole irrigation

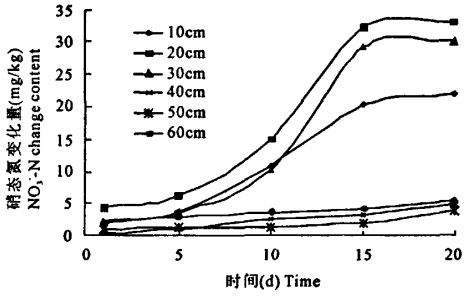

图 8　畦灌不同土层硝态氮变化量曲线

Fig.8　NO_3^- - N changing curve of different soil layers in border irrigation

含量随着时间的推移增加较快;第二阶段为施肥后第 10 ~ 20 天,0 ~ 40 cm 土层硝态氮变化量稳定阶段,此阶段硝态氮随时间变化很小,仅略有增加,50 ~ 60 cm 土层在生育期 20 d 内硝态氮含量变化平缓,硝态氮变化量保持在 5.0 mg/kg 左右。从图 8 可以看出:由于畦灌土壤硝态氮含量受尿素水解速度的影响,其硝态氮含量随时间变化曲线分为 3 个阶段,第一阶段为施肥后第 1 ~ 5 天,硝态氮变化量很小,10 ~ 60 cm 土层硝态氮含量增加很少,各土壤层硝态氮变化量基本上保持在 5.0 mg/kg 左右;第二阶段为为施肥后第 5 ~ 15 天,0 ~ 30 cm 土层硝态氮含量增加阶段,此阶段 10 cm、20 cm、30 cm 土层在第 15 天硝态氮变化量值比第 1 天硝态氮变化量值分别增加了281.8%、304.3%和392.8%;第三阶段为硝态氮变化稳定阶段,施肥后 15 ~ 20 天硝态氮含量变化较小,40 ~ 60 cm 土层在生育期 20 天内硝态氮含量变化平缓,硝态氮变化量保持在 5.0 mg/kg 左右。通过对比分析,可看出畦灌土壤硝态氮含量比膜孔灌土壤硝态含量随时间变化具有滞后性且土层硝态氮含量随时间变化比膜孔灌剧烈,主要是由于膜孔灌通过覆膜抑制了土壤蒸发,达到持水保墒

万方数据

效果，土壤剖面水分受外界影响比畦灌小，硝态氮含量随时间变化比畦灌均匀，有利于氮素的吸收利用。

3 结 论

1) 相同的灌水定额条件下，膜孔灌土壤剖面含水率变化较均匀，畦灌在0~30 cm土层含水率变化剧烈，灌水后1天和灌水后5天在0~30 cm土层膜孔灌土壤含水率比畦灌土壤含水率高19.2%和18.3%，膜孔灌与畦灌相比具有良好的保水和持水效果。

2) 相同的灌水定额条件下，土壤铵态氮含量受土壤水分运动的影响较小，主要分布在30 cm以上土层，膜孔灌条件下土壤铵态氮含量随时间分布比畦灌均匀，其铵态氮含量最大值为41.6 mg/kg，与畦灌相比铵态氮含量增加了4.3%。

3) 相同的灌水定额条件下，硝态氮含量受灌水方式的影响较大。在10 cm、20 cm、30 cm、40 cm和50 cm土层硝态氮含量膜孔灌与畦灌相比分别增加了41.3%、96.3%、55.3%、50.7%和46.5%，其土壤硝态氮含量随时间和垂直土壤剖面分布均匀，硝态氮含量主要集中在0~50 cm土层，有利于作物对氮素的吸收，提高氮素利用率。

参 考 文 献：

[1] 崔玉亭.化肥与生态环境保护[M].北京：化学工业出版社，2000:5—10.

[2] 张春伦，朱兴明，胡思农.缓解尿素施肥及氮素利用率研究[J].土壤肥料，1998，(6):17—20.

[3] 张光辉，朱立选.渭北旱塬膜上灌灌水技术研究[J].水土保持研究，1999，6(1):60—61.

[4] 缴锡山，王文焰，张建丰，等.单点膜孔入渗特性的试验研究[J].水利学报，1997，(7):33—39.

[5] 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.

[6] 董玉云，费良军，朱兴华.膜孔点源肥液入渗湿润体特性试验研究[J].农业工程学报，2006，22(12):78—81.

[7] 贾丽华，费良军，程东娟.不同灌溉施肥方式的土壤硝态氮运移特性试验研究[J].干旱区农业研究，2008，26(2):44—48.

Experimental study on soil nitrogen distribution characteristics under film hole irrigation

CAO Jun, FEI Liang-jun, TUO Yun-fei

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

Abstract: The soil nitrogen distribution characteristics under conventional border and film hole irrigation was analyzed through field experiment. The results shows that compared with border irrigation, the soil profile moisture of hole irrigation changes uniformly under the condition of same irrigation quota, and the soil moisture of film hole irrigation is 19.2% and 18.3% higher respectively than that of border irrigation after one day and five days of irrigation at the depth of 0~30 cm; The ammonium nitrogen is mainly distributed in 0~30 cm soil layer, and its content is little influenced by soil water movement under the condition of same irrigation quota. The distribution over time of Ammonium nitrogen content in soil under hole irrigation is even more than that under border irrigation. With its maximum value of 41.6 mg/kg, the Ammonium nitrogen content of hole irrigation has increased by 4.3% compared with that of border irrigation; The nitrate nitrogen content has largely affected by irrigation way under the condition of same irrigation quota, the nitrate nitrogen content in 0~50 cm soil layer under the film hole irrigation has increased by 41.3%, 96.3%, 55.3%, 50.7% and 46.5% respectively than that of border irrigation. The nitrate nitrogen content of the film hole irrigation distributed uniform over the soil depth and time, and mainly in 0~50 cm soil layer, which benefits to the absorption of nitrogen for crops and improvement of nitrogen utilization.

Keywords: border irrigation; film hole irrigation; moisture content; NO_3^- - N; NH_4^+ - N

万方数据