施肥方式对土壤间歇入渗特性的影响

吴军虎[1,2],费良军[1]

(1.西安理工大学 教育部西北水资源与环境生态重点实验室,陕西 西安 710048;
2.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)

摘 要:通过不同施肥方式土壤间歇入渗试验,研究了施肥方式对土壤间歇入渗特性的影响。结果表明,不施肥与采用深施施肥方式对土壤间歇入渗能力影响不大,灌施间歇入渗量略大于深施,而表施间歇入渗量明显大于灌施与深施,不同施肥方式间歇入渗量的差异主要表现在第一周期。建立了不同施肥方式土壤间歇入渗模型,实例计算表明,该方法可简单而有效地确定土壤间歇入渗量。

关键词:施肥方式;波涌灌溉;间歇入渗

中图分类号:S152.7+2;S147.3;S275 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-7601(2010)01-0001-05

波涌灌是按一定时间间隔周期性地将水引入到沟(畦)中的一种节水型地面灌溉技术,由于灌水周期中存在间歇阶段,其土壤水分入渗形式属于间歇入渗。在入渗间歇阶段,表层土壤形成致密层,一方面导致湿润段土壤的入渗能力降低,另一方面使田面糙率减小,较传统地面灌溉具有节水、保肥、减少深层渗漏、提高灌水效率、改善灌水均匀度等优点,适宜于中国旱作农田地面灌溉[1,2]。另外,目前我国已成为世界上氮肥年用量最多的国家,单位面积的施用量也高于世界平均水平,而我国氮肥利用率却仅为 30%~50%,即有超过一半的氮肥施入土壤后通过各种途径损失掉。不仅使肥料的生产效益大为降低,而且还造成了环境污染问题[3~5]。这一方面是由于氮肥过量施用的结果,另一方面也说明施肥方式对氮肥利用率也具有重要影响。结合波涌灌溉进行施肥,有利于减少氮肥淋失,对于提高氮肥利用率,减轻施肥的环境污染具有重要意义。

国内外学者已对清水间歇入渗和含泥沙的浑水间歇入渗进行了比较广泛和深入的研究,主要集中在间歇入渗的节水机理、间歇入渗特性、水流运动特性和数值模拟,以及波涌灌适应性、灌溉实施方案及灌溉效益分析方面[6~11]。近年来又开始对施肥间歇入渗条件下氮素运移开展了初步探索[12~15],但都主要集中在肥料的分布和运移过程,而对于施肥条件下肥料对于间歇入渗特性的影响却研究甚少,土壤水分运动与肥料运移关系密切,氮素的运移依靠土壤水分的运动作为载体,相反由于溶质的存在,会对土壤水分的入渗过程产生一定影响[16,17]。本文通过不同施肥方式的土壤间歇入渗试验,研究施肥方式对土壤间歇入渗水分与氮素运移特性的影响,为提高间歇入渗水分和氮素有效利用率提供科学依据。

1 材料与方法

为研究不同施肥方式的土壤间歇入渗特性,利用一维垂直间歇入渗装置进行土壤间歇入渗试验。试验装置由土柱和供水系统两部分组成[14]。供水系统利用改进的马氏瓶进行自动供水,马氏瓶置于可调节高度的活动支架上。土柱由长×宽×高为 20 cm×15 cm×65 cm 的有机玻璃材料制成,为了减轻各周期加水和排水过程对表层土壤致密层的破坏,在土柱上部一侧壁开高 0.3 cm、宽 4.0 cm 的进(排)水缝,外侧设有水槽,在供水阶段初期通过水槽加水,在水槽下部安装放水管嘴,可以排放周期供水结束后土柱上部积水。在土柱上方加盖,目的是入渗水量发生微小变化,即可引起较大的水位变化,提高试验精度。沿土柱四壁垂向设置取样孔,孔径 2.0 cm,用橡皮塞塞堵,用于试验期间采集土样,采样后以土回填。

试验土样取自西安理工大学露天试验场,土壤质地为粉土,其土壤颗粒级配组成与基本参数见表 1 与表 2。试验土样经风干、粉碎、过筛、配水,按设计土壤容重分层装土。

为了研究施肥方式对土壤间歇入渗特性的影响,在室内进行了不同施肥方式的间歇入渗试验。试验肥料采用 NH_4NO_3。试验设 4 个处理,周期供水

收稿日期:2009-04-30
基金项目:黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目(10501-261);陕西省教育厅科研计划项目(09JK665);陕西省重点学科建设项目
作者简介:吴军虎(1974—),男,陕西三原人,副教授,博士,主要从事农业水土工程与水文水资源方面的研究。E-mail: wjh@xaut.edu.cn。

万方数据

时间为30 min、循环率为1/2、周期数为4，施肥方式分别为灌施、表施和深施的间歇入渗试验，以及同条件下的不施肥清水间歇入渗试验作为对照。灌施是利用100 mg/L的NH_4NO_3肥液进行灌溉入渗；表施是先将582 mg NH_4NO_3溶于60 mL蒸馏水中，迅速均匀地喷于表层土壤，立即供蒸馏水入渗；深施是将582 mg的NH_4NO_3溶于蒸馏水，再用这种肥液将一定量风干土配至预定含水量，将配好的土装入土柱10～15 cm深度处，然后供蒸馏水进行入渗。在进行入渗试验时，按照先密后疏的时间间隔通过马氏瓶读取累积入渗量，湿润锋运移距离由有机玻璃试验装置表面的坐标直接读取；在间歇入渗各周期供水阶段末、间歇阶段末与连续入渗的相应时间，以及再分布过程的停水后3、6、12、24、48、72、120 h利用γ透射法不破坏土柱测定土壤含水率[18]，测量精度达到±2%。

表1 土壤颗粒级配组成(我国土壤质地分类，吸管法)(%)

Table 1 Size distribution of soil particle

土壤质地 Soil texture	粒径 Particle diameter(mm)									
	<1	<0.5	<0.25	<0.1	<0.05	<0.025	<0.01	<0.005	<0.002	<0.001
粉土 Silt	99.6	99.2	98.87	98.6	89.15	56.58	28.02	11.34	2.88	0.9

表2 土壤基本参数

Table 2 Basic parameters of experimental soil

土壤质地 Soil texture	土壤容重 Bulk density (g/cm^3)	饱和导水率 Saturated conductivity (cm/min)	初始含水率 Initial water content(%)	饱和含水率 Saturated water content(%)	初始硝态氮含量 Initial nitrate nitrogen content(mg/kg)	初始铵态氮含量 Initial ammonium nitrogen content(mg/kg)	pH
西安粉土 Xi'an silt	1.30	0.014	18.20	52.42	12.5	17.0	7.7

2 施肥方式对土壤间歇入渗能力的影响

不施肥与灌施、表施与深施的间歇入渗累积入渗量随入渗时间的变化过程见图1，图中时间为净入渗时间。图2为对应图1的间歇入渗率曲线。

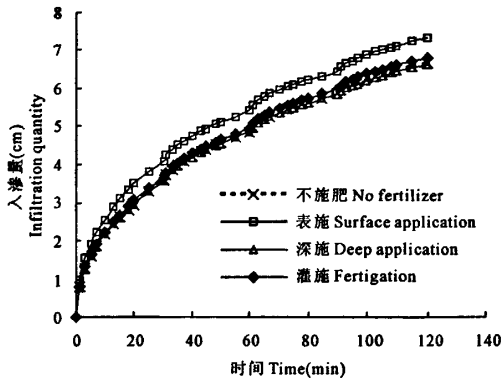

图1 不同施肥方式土壤间歇入渗量曲线

Fig.1 Cumulative intermittent infiltration quantity under different modes of fertilizer application

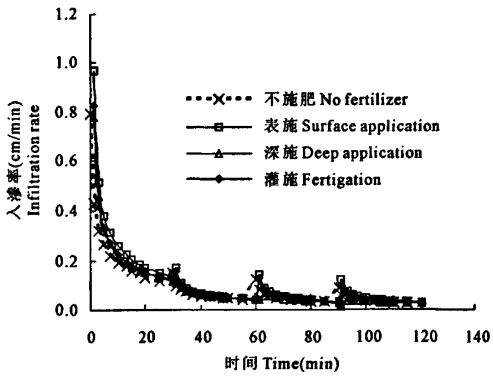

图2 不同施肥方式土壤间歇入渗率曲线

Fig.2 Cumulative intermittent infiltration rate under different modes of fertilizer application

可以看出，不同施肥方式的间歇入渗均符合间歇入渗的一般规律。在间歇入渗第一周期入渗初期，入渗量增加很快，同时入渗率迅速降低，随着入渗时间的延长，入渗量不断增大，入渗率不断减小，但入渗量增加的趋势和入渗率减小的趋势逐渐减弱。由于间歇阶段的存在，从第二周期开始，以后各周期间歇入渗初期入渗量有少量突增而后增加趋于缓慢，各周期入渗率随入渗时间的延续而减小，并且各周期初期间歇入渗率由于间歇阶段的存在而急剧增大，明显大于前一周期末的间歇入渗率，在较短时间内入渗率发生突降而后减小趋势趋于平缓。

对比不同施肥方式的间歇入渗，采用灌施施肥方式与不施肥的间歇入渗过程基本一致，二者之间的差异并不明显。而在相同净入渗时间内，表施的

万方数据

累积入渗量明显大于相应时间灌施与深施的间歇入渗量,表施的间歇入渗率大于相应时间灌施与深施的间歇入渗率。不同施肥方式土壤间歇入渗能力表现为:

表施 > 灌施 ≈ 深施 ≈ 不施肥

图 3 为对应图 1 的实测不同施肥方式条件下的土壤间歇入渗各周期入渗量的变化曲线。不同施肥方式土壤间歇入渗各周期的间歇入渗量见表 3。

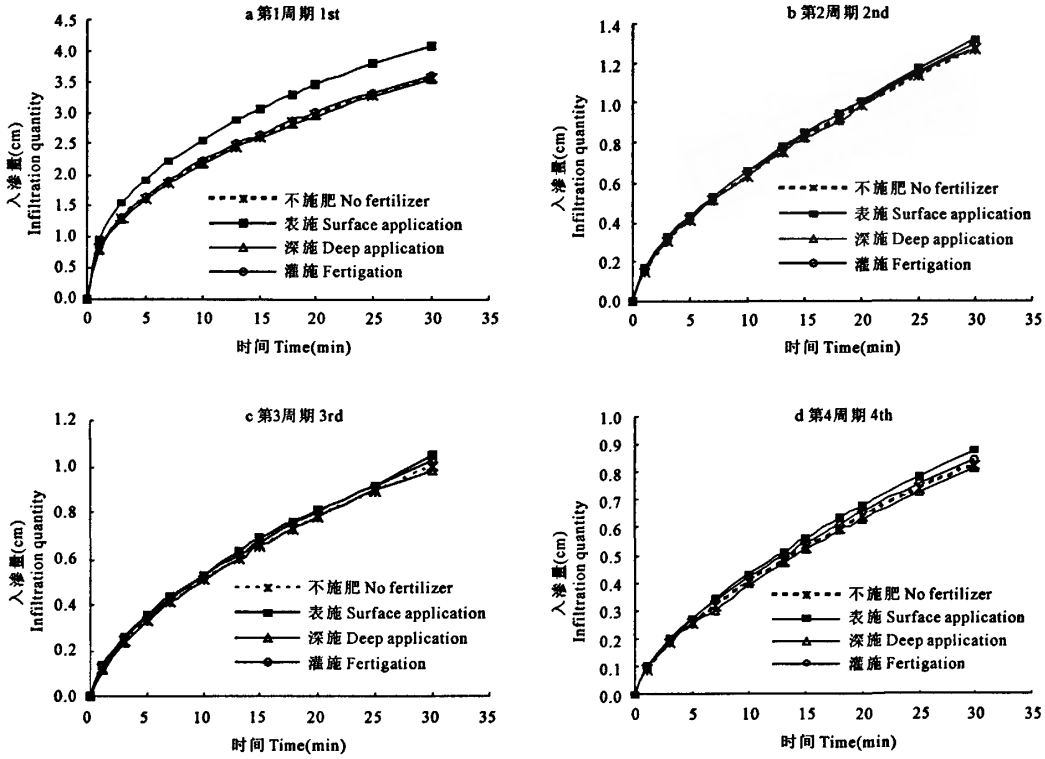

图 3　不同施肥方式的土壤间歇入渗各周期入渗量曲线

Fig.3　Cumulative intermittent infiltration per cycle under different modes of fertilizer application

表 3　不同施肥方式土壤间歇入渗各周期间歇入渗量(cm)

Table 3　Intermittent infiltration volume per cycle under different modes of fertilizer application

周期 Cycle	不施肥 No fertilizer	表施 Surface application	深施 Deep application	灌施 Fertigation
第 1 周期 1st	3.57	4.08	3.54	3.62
第 2 周期 2nd	1.27	1.32	1.27	1.30
第 3 周期 3rd	1.00	1.05	0.98	1.03
第 4 周期 4th	0.82	0.88	0.81	0.84
合　计 Total	6.66	7.33	6.60	6.79

由图 3、表 3 可以看出,在土壤间歇的各周期中,不同施肥方式土壤的间歇入渗量均随入渗时间的延长而增大,不同施肥方式土壤的入渗量随周期数的增加而减小,符合间歇入渗的一般规律。不同施肥方式的间歇入渗量差异在第一周期表现明显,而经过间歇阶段之后,以后各周期不同施肥方式的土壤间歇入渗量基本接近。

3　施肥方式对土壤间歇入渗的影响

肥料在土壤中的运移不仅依靠土壤水分的运动作为载体,而且对土壤水分的运动具有一定的影响作用,并且采用不同的施肥方式,对土壤水分运动的影响作用和程度不同。

深施条件下肥料施于深层土壤,而水分入渗的通道是土壤表面,对于表层土壤而言,深施的水分入渗就是清水入渗,施于土壤深层的肥料对于土壤表层的入渗水量并不产生显著的影响。因此,深施条件下的间歇入渗量与不施肥的清水间歇入渗差异不明显。

表施情况下,对于表层土壤而言,在入渗的起始阶段,肥料溶于入渗水中,在短时间内,其对应的肥液浓度远大于灌施的肥液浓度和清水,表层土壤不仅是水分下渗的通道,而且在入渗初期充分地接触到肥料中的溶质分子和离子,因而它能更多地吸附

万方数据

土壤肥液中的许多阳离子，土壤胶体表面吸附的氨和尿素等肥料分子也越多，并且土壤胶粒产生凝聚作用越强[14]，形成较大的团聚体越多越大，相应表层土壤的孔隙也就越大，水分入渗的通道就越多，导致入渗量增大，所以在土壤间歇入渗的第一周期，表施情况下的入渗量明显大于灌施与深施的间歇入渗量。但是随着时间的延续，清水不断入渗冲洗，肥料随着入渗水量而不断向下迁移，相应表层土壤的肥液浓度迅速降低。表施情况相当于表层土壤所接触的肥液浓度由高迅速降低的过程。而灌施情况下肥液浓度基本保持一致。

土壤间歇入渗由于间歇阶段的存在，在此过程中，表层土壤固结而形成致密层，土壤孔隙减小、容重增加，土壤表层土壤结构基本稳定，以后周期表层土壤结构受施肥方式的影响不明显。因此，以后各周期中不同施肥方式的土壤间歇入渗量基本接近。

4 不同施肥方式的土壤间歇入渗量计算模型

由于周期入渗时间较短，采用简化的 Philip 模型拟合不同施肥方式的间歇入渗各周期入渗量，即：

$$Z_i = S_i t^{1/2} \quad (1)$$

式中：Z_i 为不同施肥方式的间歇入渗第 i 周期的入渗量(cm)；S_i 为第 i 周期的间歇入渗参数(cm/min$^{1/2}$)；i 为间歇入渗第 i 周期；t 为周期入渗时间(min)。对图3资料采用式(1)拟合的结果见表4。

表4 不同施肥方式的间歇入渗模型参数

Table 4 Intermittent infiltration parameters under different modes of fertilizer application

周期 Cycle	参数 Parameters	不施肥 No fertilizer	表施 Surface application	深施 Deep application	灌施 Fertigation
第1周期 1st	S_1(cm/min$^{1/2}$)	0.6716	0.7837	0.6685	0.6860
	R^2	0.9901	0.9886	0.9946	0.9861
第2周期 2nd	S_2(cm/min$^{1/2}$)	0.2162	0.2236	0.2165	0.2212
	R^2	0.9720	0.9824	0.9801	0.9751
第3周期 3rd	S_3(cm/min$^{1/2}$)	0.1713	0.1793	0.1707	0.1770
	R^2	0.9777	0.9878	0.9829	0.9806
第4周期 4th	S_4(cm/min$^{1/2}$)	0.1390	0.1481	0.1370	0.1434
	R^2	0.9641	0.9755	0.9726	0.9719

取显著性水平为0.01，对含有12个数据点的系列，其临界相关系数 r_α 为0.708。可以看出，采用式(1)拟合不同施肥方式间歇入渗各周期入渗量的相关系数均大于临界相关系数 r_α，说明该模型对不同施肥方式间歇入渗量曲线能较好地拟合，相关关系显著。不同施肥方式土壤间歇入渗参数 S_i 均随着间歇入渗周期数的增大而减小，在同一周期，深施施肥方式与不施肥的间歇入渗参数值相差不大，不同施肥方式的间歇入渗参数值关系为：

$$S_{i表施} > S_{i灌施} \approx S_{i深施} \approx S_{i不施肥}$$

经分析，S_i 与间歇入渗周期数 i 符合以下关系：

$$S_i = S_0 - m(i-1)^n \quad (2)$$

则 $$Z_i = [S_0 - m(i-1)^n] \times t^{1/2} \quad (3)$$

式中：S_0 为同一施肥方式的连续入渗参数(cm/min$^{1/2}$)；i 为间歇入渗第 i 周期；m、n 为拟合系数；其它符号意义同前。

利用式(2)对表4中 S_i 资料回归分析结果见表5。

表5 不同施肥方式间歇入渗模型参数

Table 5 Intermittent infiltration model parameters

参数 Parameters	不施肥 No fertilizer	表施 Surface application	深施 Deep application	灌施 Fertigation
S_0(cm/min$^{1/2}$)	0.6716	0.7837	0.6685	0.6860
m	0.4549	0.5596	0.4514	0.4640
n	0.1418	0.1145	0.1466	0.1398
R^2	0.9988	0.9989	0.9984	0.9975

则不同施肥方式的间歇入渗量模型为：

不施肥：$Z_i = [0.6716 - 0.4549(i-1)^{0.1418}] \times t^{1/2}$

表施：$Z_i = [0.7837 - 0.5596(i-1)^{0.1145}] \times t^{1/2}$

深施：$Z_i = [0.6685 - 0.4514(i-1)^{0.1466}] \times t^{1/2}$

灌施：$Z_i = [0.6860 - 0.4640(i-1)^{0.1398}] \times t^{1/2}$

该模型建立了不同施肥方式土壤间歇入渗参数与连续入渗参数的关系，可以根据不同施肥方式连续入渗参数确定间歇入渗量。

为了验证模型，采用表施模型计算间歇入渗第3周期的入渗量见表6。可以看出，模型计算值与实测值相对偏差基本都在10%以内，说明该模型由连

万方数据

续入渗资料预测间歇入渗量是有效的。

表 6　表施间歇入渗模型计算入渗量与实测值

Table 6　Calculated and observed value of intermittent infiltration under surface application

项目 Items	入渗时间 Infiltration time(min)					
	5	10	15	20	25	30
计算值(cm) Calculated value	0.40	0.56	0.69	0.80	0.89	0.97
实测值(cm) Measured value	0.36	0.53	0.69	0.81	0.92	1.05
相对偏差(%) Relative deviation	11.11	5.66	0.00	-1.23	-3.26	-7.62

5　结　论

通过肥液连续与间歇入渗试验,研究了肥液间歇入渗土壤湿润特性,得到以下结论:

1) 不施肥与采用深施施肥方式对土壤间歇入渗能力影响不大,灌施间歇入渗量略大于深施,而表施间歇入渗量明显大于灌施与深施;

2) 不同施肥方式间歇入渗量的差异主要表现在第一周期;

3) 建立了不同施肥方式土壤间歇入渗模型,实例计算表明,该方法可简单而有效地确定土壤间歇入渗量。

参 考 文 献:

[1] 王文焰.波涌灌溉试验研究与应用[M].西安:西北工业大学出版社,1994.

[2] 刘群昌,许　迪,谢崇宝,等.波涌灌溉技术田间适应性分析[J].农业工程学报,2002,18(1):35—40.

[3] 汪建飞,邢素芝.农田土壤施用化肥的负效应及其防治对策[J].农业环境保护,1998,17(1):40—43.

[4] 巨晓棠,张福锁.中国北方土壤硝态氮的累积及其对环境的影响[J].生态环境,2003,12(1):24—28.

[5] 吕殿青,同延安,孙本华.氮肥施用对环境污染影响的研究[J].植物营养与肥料学报,1998,4(1):8—15.

[6] Blair A W, Smerdon E T. Modeling surge irrigation infiltration[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1987,113(4):497—515.

[7] 费良军,王文焰.浑水波涌畦灌条件下的间歇入渗试验研究[J].水利学报,1998,(5):65—70.

[8] Fekersillassie D, Eisenhauer D E. Feedback-controlled surge irrigation: Ⅰ. Model development[J]. Transactions of the ASAE, 2000,43(6):1621—1630.

[9] 吴军虎,费良军,李怀恩,等.波涌灌溉土壤间歇入渗数学模型研究现状[J].水土保持学报,2003,17(5):51—53.

[10] 刘贤赵,康绍忠.连续与间歇积水入渗对比试验研究[J].水科学进展,1999,10(1):53—58.

[11] 王文焰,汪志荣,费良军,等.波涌灌溉的灌水质量评价及计算[J].水利学报,2000,(3):53—58.

[12] 吴军虎,费良军,李怀恩.灌施条件下波涌灌溉土壤间歇入渗硝态氮运移特性试验研究[J].灌溉排水学报,2004,23(5):41—44.

[13] 樊菊平.波涌灌间歇入渗水分与氮素运移特性试验研究[D].西安:西安理工大学,2003.

[14] 吴军虎.波涌灌溉间歇入渗水氮运移特性试验及数值模拟[D].西安:西安理工大学,2004.

[15] 吴军虎,费良军,李怀恩,等.灌施连续与间歇入渗硝态氮运移与土壤含水量的关系[J].水土保持学报,2004,18(4):42—45,49.

[16] 吴军虎,费良军,李怀恩,等.溶液浓度对土壤间歇入渗特性影响实验研究[J].水土保持学报,2005,19(5):22—25.

[17] 吴军虎,费良军,赵　茜,等.土壤间歇入渗水肥耦合特性实验研究[J].农业工程学报,2006,22(4):28—31.

[18] 沈　晋,王文焰,沈　冰,等.动力水文实验研究[M].西安:陕西科学技术出版社,1991.

Influence of fertilizer application on intermittent infiltration characteristics of soil

WU Jun-hu[1,2], FEI Liang-jun[1]

(1. *Key Laboratory of Northwest Water Resources and Environment Ecology, Ministry of Education, Xi' an University of Technology, Xi' an, Shaanxi* 710048, *China*;

2. *State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: The influence of fertilizer application on intermittent infiltration characteristics of soil was studied based on indoor experimental data of intermittent infiltration under different modes of fertilizer application. The results indicated that no fertilizer or deep application had no obvious influence on intermittent infiltration capacity. The infiltration quantity under fertigation was a little more than that under deep application; while that under of surface application is significantly more than under deep application and fertigation. The difference of infiltration quantity under different modes of fertilizer application mainly presented in the first cycle period. The infiltration model under different modes of fertilizer application was proposed, and the example indicates that the method is simple and effective.

Keywords: mode of fertilizer application; surge irrigation; intermittent infiltration

万方数据