

灌水定额对波涌灌溉土壤间歇入渗特性的影响

尹 娟¹, 费良军², 李薛锋³, 卢红琴⁴

(1. 宁夏大学土木与水利工程学院, 宁夏 银川 750012; 2. 西安理工大学水资源研究所, 陕西 西安 710048;
3. 宁夏盐池县水务局, 宁夏 盐池 751500; 4. 宁夏固原市原州区水利局, 宁夏 固原 756000)

摘 要: 通过肥液(KNO₃ 溶液)室内入渗试验, 模拟研究了地下水位埋深 150 cm 条件下灌水定额对波涌灌溉土壤间歇入渗特性的影响。结果表明, 在试验条件下平均入渗速度随灌水定额的增加而减小; 灌水定额越大平均周期减渗率越大; 土壤含水率增幅随灌水定额的增加而增大; 灌水定额越大, 土壤水分向下运移越深, 进入地下水中的水量越多, 越容易造成地下水污染和水资源浪费。

关键词: 灌水定额; 波涌灌; 间歇入渗; 入渗率; 减渗率

中图分类号: S153.5; S275.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)01-0135-05

波涌灌溉是一种新型的地面节水灌溉技术。波涌灌是间歇性的向土壤中供水, 存在着吸湿和脱湿的交替过程, 使土壤结构发生变化, 表层土壤形成致密层, 导致湿润段土壤入渗能力降低和田面糙率减小。大量试验研究表明波涌灌溉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, 适宜于我国旱作农田地面灌溉^[1,2]。

水分在土壤中的入渗特性主要包括入渗量、入渗率等, 入渗特性直接影响着灌溉质量和灌溉效率, 进而影响作物的生长和资源的有效利用。国内外学者对灌水定额的研究主要集中在灌水定额对田间水利用系数^[3]、覆膜开孔蒸发^[4]、土壤水盐运移^[5]及对土壤温度^[6]等的影响。波涌灌溉技术要素之一的灌水定额对水分入渗特性影响的研究已取得一定成果^[7~9]。为了进一步深入研究灌水定额对波涌灌水分入渗特性的影响, 作者通过室内实验, 模拟地下水位埋深 150 cm 条件下土壤间歇入渗过程。此项研究, 为合理制定波涌灌溉制度提供理论依据。

1 材料与方法

试验装置主要由土柱和供水系统两部分组成, 供水系统由地下水供水系统和地表水供水系统组成。如图 1 所示, 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。土柱为高 190 cm、内径 15 cm 的有机玻璃土柱, 其底部 35 cm 的深度内装粒径为 2~7 mm 的砂砾石, 模拟地下饱和含水层, 上部 150 cm 为非饱和均质土壤, 两部分间垫以弹性较差的薄海绵, 以免上层土壤

进入砂砾层。土柱沿垂向设取土孔 4 排, 孔径为 2.0 cm, 孔中心间距为 5.0 cm, 相邻两排取土孔以垂直孔距 2.5 cm 交叉布置。在入渗前先保持一定厚度的水层。为此, 在土柱上部开高 0.3 cm、宽 4.0 cm 的进(排)水缝, 外侧设有供水槽, 在供水阶段初期通过供水槽加水, 在水槽底部安装排水管嘴, 以便排放周期供水结束后土柱表层积水。

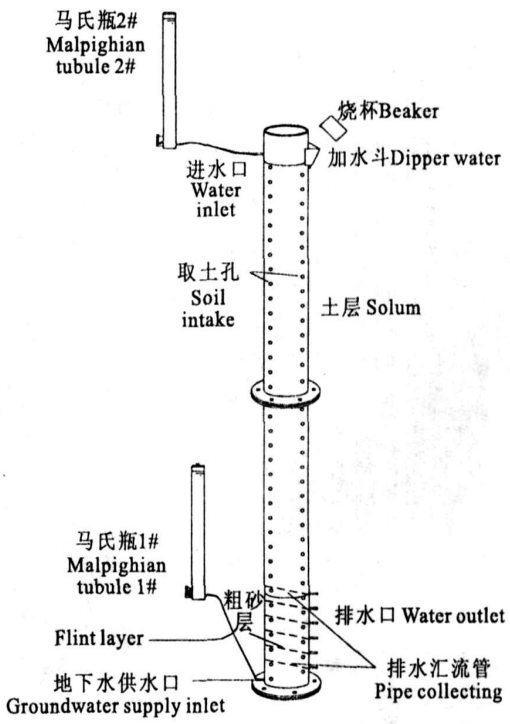


图 1 试验装置图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

试验土样为粉壤土,其颗粒级配组成见表 1。试验土样经风干、粉碎、过筛(筛孔径为 2 mm)、配水,按土壤容重 1.30 g/cm³ 分层(5 cm)装土。试验一开始先由马氏瓶供给地下水,地下水位高度通过马氏瓶进气孔来控制,待土柱中上升毛管水分布稳

定后再进行入渗试验。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,并记录相应的时间。试验采用溶液浓度为 500 mg/L—N—KNO₃,周期数为 3,间歇时间为 30 min,灌水定额(*m*)分别取为 45 mm、75 mm、105 mm。

表 1 试验土壤颗粒级配组成
Table 1 Particle composition of the soil samples

项目 Item	粒径 Soil particle diameter(mm)									
	<1.0	<0.5	<0.25	<0.1	<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

2 结果与分析

2.1 灌水定额对肥液间歇入渗能力的影响

灌水定额(*m*)为 45 mm、75 mm、105 mm 间歇入渗各周期入渗率变化规律见图 2。可以看出,灌水定额为 45 mm、75 mm、105 mm 对应的波涌灌间歇入渗供水总时间分别为 105 min、355 min 和 715 min,即入渗时间随灌水定额的增大而增加,由于减

小了入渗率和延长了入渗时间,用波涌灌进行较大量的灌水,灌水历时过长而不能显示出波涌灌的优势。不同灌水定额的间歇入渗平均入渗速度见表 2。可以看出,不同灌水定额的间歇入渗从第二周期后平均入渗速度随周期数的增加而减小,这是由于间歇灌水造成表面致密层的形成与发展,从而改善了水分入渗特性,并且使这些特性的改变朝向有利于提高灌水质量的方向发展,这是波涌灌的一个重

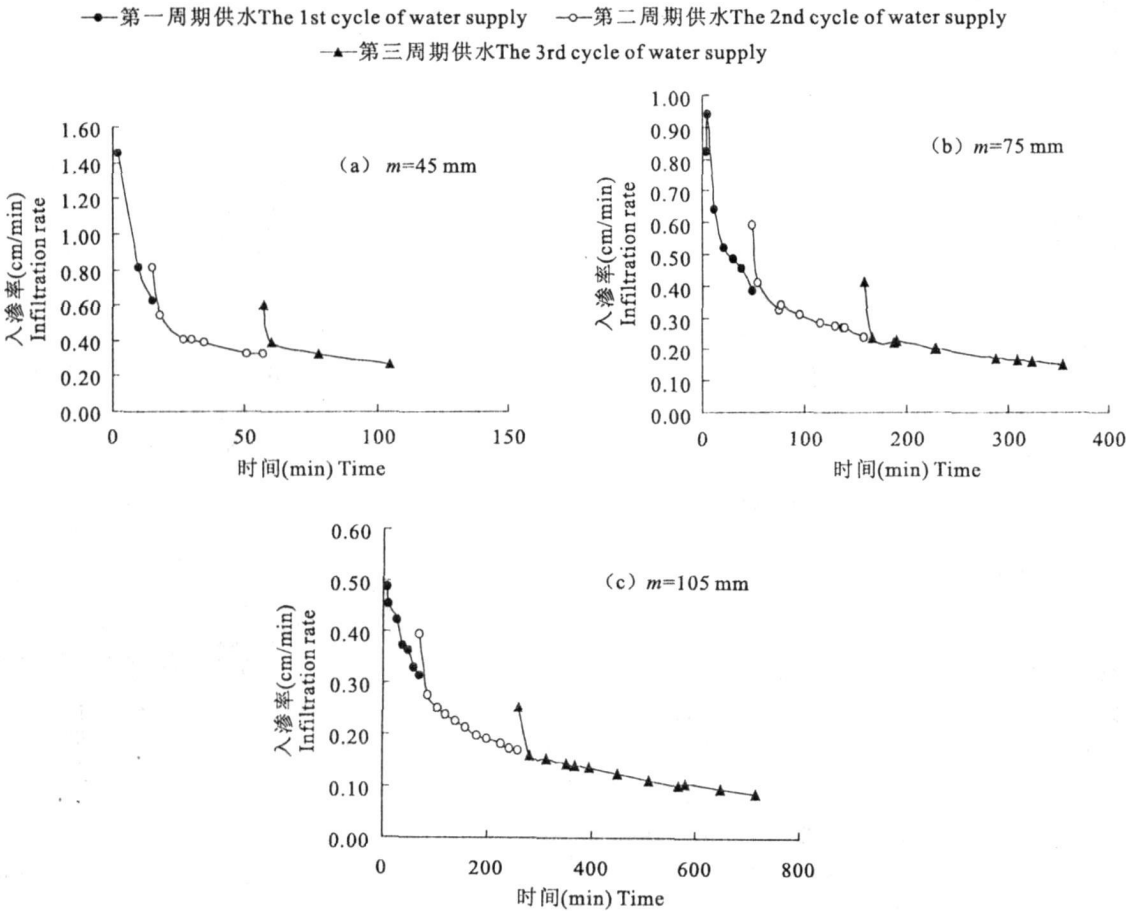


图 2 不同灌水定额(*m*)间歇入渗各供水周期入渗率曲线
Fig. 2 Cycle infiltration rate curve of different irrigating water quota(*m*) under intermittent infiltration

表 2 不同灌水定额的间歇入渗平均入渗速度

Table 2 Calculation of average infiltration rate under intermittent infiltration of different irrigation water quota						
灌水定额 Irrigation water quota(mm)	周期数 No. of cycles	入渗水量 Infiltration quantity (mm)	入渗时间 Infiltration time (min)	平均入渗速度 i Average infiltration rate(mm/min)	周期减渗率 η Cycle infiltration reduction rate (%)	平均周期减渗率 Average cycle infiltration reduction rate(%)
45	1	15	15	0.96	—	
	2	15	42	0.42	56.82	40.58
	3	15	48	0.31	24.34	
75	1	25	49	0.61	—	
	2	25	109	0.31	49.34	42.42
	3	25	197	0.20	35.51	
105	1	35	70	0.43	—	
	2	35	190	0.22	48.24	45.48
	3	35	455	0.13	42.73	

要特点。灌水定额为 45 mm、75 mm、105 mm 对应的平均入渗速度分别为 0.56 mm/min、0.37 mm/min、0.26 mm/min,表明不同灌水定额条件下,平均入渗速度随灌水定额的增加而减小,这主要是由于土壤入渗速度随入渗时间的延长而减小。

周期减渗率表示随周期数的增加平均入渗速度的递减程度,即:

$$\eta = \frac{i_n - i_{n+1}}{i_n}$$

式中: η 为周期减渗率(%); i 为周期平均入渗速度。

由表 2 可以看出,在其它条件相同的情况下,灌水定额为 45 mm、75 mm、105 mm 对应的平均周期减渗率分别为40.58%、42.42%、45.48%,表明平均周期减渗率随灌水定额的增大而增大。主要是由于当灌水定额大时,间歇时间与其入渗时间相比太短,由水分再分布引起的土壤水势梯度较小,从而使入渗速度减少,有利于波涌灌的减渗作用,另外,灌水定额大时,周期灌水量较大,使整个土柱内土壤含水率很高,几乎接近饱和,而后继周期供水时土壤中的基质势为 0,水分只有在重力势作用下运动,入渗速度开始明显减小,同时土柱底部开始有地下水流出。

2.2 灌水定额对肥液间歇入渗土壤含水率分布的影响

图 3 表示灌水定额为 45 mm、75 mm、105 mm 时,周期数为 3 的间歇入渗各周期土壤水分分布规律,表 3 表示不同灌水定额对应的土壤含水率变化及湿润锋运移距离。由图 3 和表 3 可以看出,不同灌水定额共有的水分入渗特性是:在同一深度处,土壤含水率随灌水周期的增加而增加;当含水率相同时,灌水周期越大,水分向下迁移的距离也越深;湿润锋随着间歇入渗各灌水周期逐渐向下推进,向下推进的距离随灌水周期的增加而减小。主要原因是随着灌水周期的增加,土壤中的含水率逐渐增大,而土壤含水率又从入渗水流湿润区的平均势梯度方面影响土壤入渗能力,土壤含水率越高,水分入渗锋面的土水势越高,则水分入渗锋面与地表之间的平均势梯度越小,因而土壤的入渗通量越小,即入渗能力越低,最终导致土壤的入渗速度减小,一定时间内水分向下迁移的距离也逐渐减小。

试验灌水后土壤平均含水率就会明显增加,文中用“土壤含水率增幅”来表示土壤平均含水率增加量。由图 3 和表 3 可以看出,灌水定额为 45 mm、75 mm、105 mm 时,土壤含水率增幅分别为 16.21%、

表 3 不同灌水定额土壤含水率增幅及湿润锋运移距离

Table 3 Change of soil water content and wetting front transport under intermittent infiltration of different irrigation water quota wetting front transport				
灌水定额(mm) Irrigation water quota	土壤含水率增幅(%) Increase rate of soil water content	湿润锋运移距离 Wetting front transport(cm)		
		第一周期 The 1st cycle	第二周期 The 2nd cycle	第三周期 The 3rd cycle
45	16.21	35.00	57.50	70.00
75	16.36	42.00	92.00	97.00
105	18.65	43.00	102.00	150.00

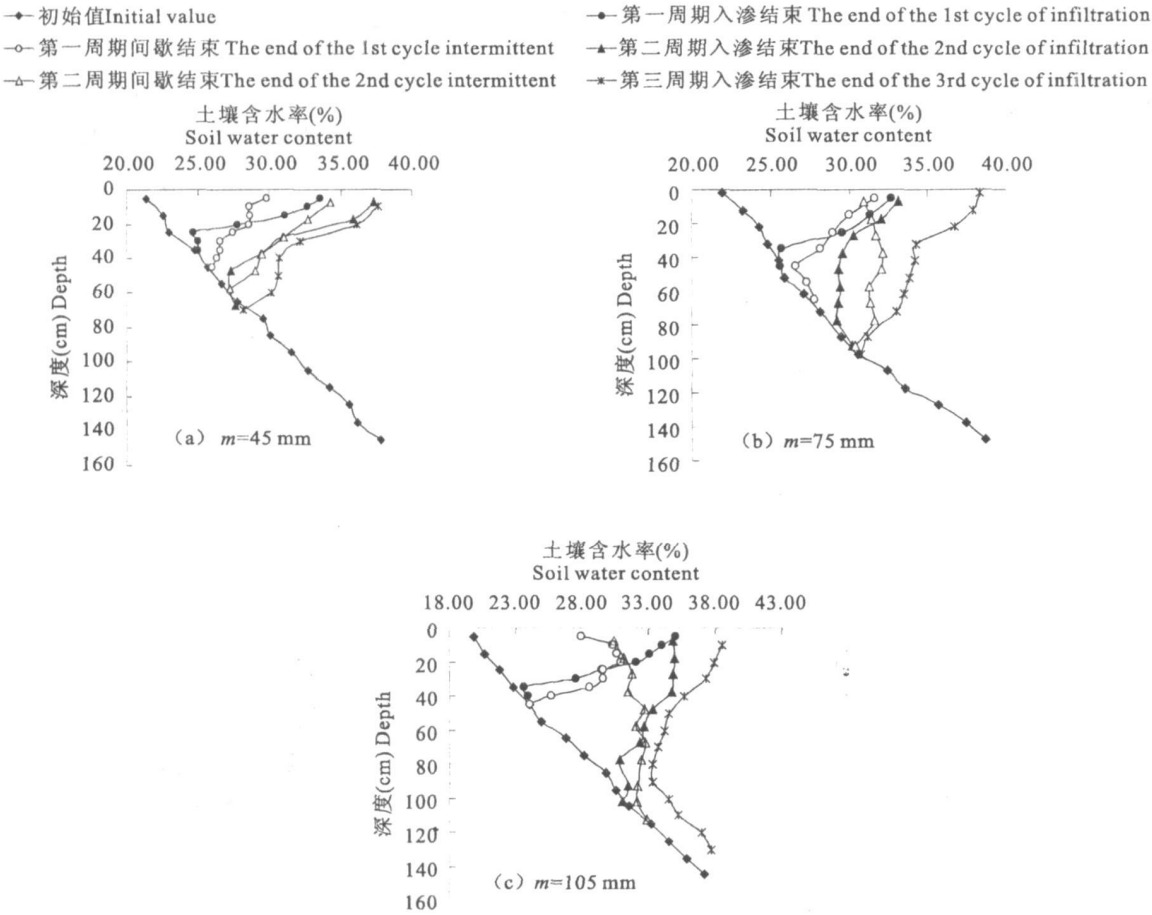


图 3 不同灌水定额(m)土壤含水率分布

Fig.3 Distribution of soil water content under different irrigation water quota(m)

16.36%和 18.65%，说明灌水定额越大，土壤含水率增幅也越大。由图 3 和表 3 还可以看出，灌水定额为 45 mm、75 mm、105 mm 时，在第一周期湿润锋运移距离分别为 57.50 cm、92.00 cm 和 102.00 cm，即灌水定额越大，湿润锋运移距离越大，在第二周期和第三周期均有同样的变化规律。说明土壤水分向下运移深度随灌水量的增加而增加。当灌水量大于计划灌水定额时，多余水分将会产生深层渗漏而进入地下水中，造成地下水污染和水资源浪费。

3 结 论

- 1) 灌水定额为 45 mm、75 mm、105 mm 对应的平均入渗速度分别为 0.56 mm/min、0.37 mm/min、0.26 mm/min，表明在试验条件下平均入渗速度随灌水定额的增加而减小。
- 2) 灌水定额为 45 mm、75 mm、105 mm 对应的平均周期减渗率分别为 40.58%、42.42%、45.48%，表明灌水定额越大平均周期减渗率越大。
- 3) 灌水定额为 45 mm、75 mm、105 mm 对应的土壤含水率增幅分别为 16.21%、16.36% 和

18.65%，表明土壤含水率增幅随灌水定额的增加而增大。

4) 灌水定额越大，土壤水分向下运移越深，进入地下水中的水量越多，越易造成地下水污染和水资源浪费。

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] 杨玫, 孙西欢, 栗岩峰, 等. 灌水定额对田间水利用系数的影响[J]. 太原理工大学学报, 2003, 34(3): 364—366.

[4] 李毅, 邵明安, 王文焰, 等. 不同灌水定额条件下的覆膜开孔蒸发实验研究[J]. 水科学进展, 2004, 15(3): 367—373.

[5] 巨龙, 王全九, 王琳芳, 等. 灌水量对半干旱区土壤水盐分布特征及冬小麦产量的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1): 86—90.

[6] 依艳丽, 梁运江, 张大庚. 不同水肥处理对辣椒保护地土壤温度和 CO₂ 含量的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(5): 875—880.

[7] 贾辉. 波涌灌溉入渗氮素运移特性与地下水环境效应试验研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2004.

[8] 吴军虎.波涌灌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.

[9] 王文焰,张建丰,高 岩.波涌灌溉在灌水方向上的入渗时间分布特征[J].西北水资源与水工程,1995,6(2):23—26.

Experimental studies on effects of irrigation quota on water infiltration characteristics under intermittent infiltration of surge irrigation

YIN Juan¹, FEI Liang-jun², LI Xue-feng³, LU Hong-qin⁴

(1. Colloge of Civil and Water Conservancy Engineering, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;
2. Institute of Water Resources, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;
3. Yanchi County Water Resources Bureau, Yanchi, Ningxia 751500, China;
4. Yuanzhou Districh Water Resources Bureau, Guyuan, Ningxia 756000, China)

Abstract: Based on experiments of fertile solution infiltration, the main effects of irrigation quota on infiltration rate were studied with a 150cm groundwater table. The results indicate that the average infiltration rate reduces with the increase of the irrigation quota. The average infiltration reduction rate increases with the increase of the irrigation quota. The changing of the soil water content increases with the increase of the irrigation quota. The wetting front transport distance and the water enterence in the groundwater increase with the irrigation water quota increasing.

Key words: irrigation quota; surge flow irrigation; intermittent infiltration; infiltration rate; infiltration reduction rate.

(上接第 134 页)

[4] 方文松,陈怀亮,刘荣花,等.河南雨养农业区土壤水分与气候变化的关系[J].中国农业气象,2007,28(3):250—253.

[5] 侯 琼,乌兰巴特尔.内蒙古典型草原区近 40 年气候变化及其对土壤水分的影响[J].气象科技,2006,34(1):102—106.

[6] 马海艳,龚家栋,王根绪,等.干旱区不同荒漠植被土壤水分的时空变化特征分析[J].水土保持研究,2005,12(6):231—234.

[7] 王馥棠,赵宗慈,王石立,等.气候变化对农业生态的影响[M].北京:气象出版社,2003:6—10.

[8] 气候变化对农业影响及其对策课题组.气候变化对农业影响及其对策[M].北京:北京大学出版社,1993.

[9] 邓惠平,祝廷成.气候变化对松嫩草地水热条件及极端事件的影响[J].中国草地,1999,(1):1—6.

The influence of climate change to soil water content in semiarid agricultural area of Xing'an League, Inner Mongolia

TANG Hong-yan¹, YAO Wen¹, YIN Xiao-fei²

(1. Xing'an League Meteorological Bureau, Wulanhaote, Inner Mongolia 137400, China;
2. Tuquan County Meteorological Bureau, Xing'an League, Inner Mongolia 137500, China)

Abstract: Meteorology data from 1961 to 2006 and soil water content from 1982 to 2006 of Tuquan County, an important agricultural area of Xing'an League, were analyzed with statistics and correlation analysis to find out the influence of climate change to soil water content in 46 a in major local agricultural area and the probable influence of future climate change to it. The results indicated that the temperature showed a rising line in 46 a, while precipitation had no obvious change but showed decadal variance and seasonal variance, and the seasonal soil water content showed a declining line in 25 a and declined rapidly in the recent years. Among the environmentally meteorological factors, temperature and precipitation had the most obvious influence on soil water content, and temperature affected mostly in spring while precipitation in summer and autumn. In the semiarid agricultural area of Xing'an League, it may get increasingly dryer in the future, and agricultural drought would be more serious, and agricultural water resources would be more limited.

Key words: climate change; soil water content variance; semiarid agricultural area of Xing'an League

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>