PAM 及波涌灌溉对水分入渗影响的微型水槽试验研究*

雷廷武[1,2]　袁普金[3]　詹 卫华[1]　Issac Shainberg[4]

(1 中国农业大学(东区) 水利与土木工程学院, 北京　100083; 2 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌　712100; 3 水利部水土保持监测中心, 北京　100053; 4 *Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, ARO, The Volcani Center, Bet Dagan　50-250, Israel*)

MINI-FLUME EXPERIMENT ON EFFECT OF PAM AND SURGE IRRIGATION ON WATER INFILTRATION

Lei Tingwu[1,2]　Yuan Pujin[3]　Zhan Weihua[1]　Issac Shainberg[4]

(*1 China Agricultural University, Beijing　100083, China; 2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shanxi　712100, China; 3 Soil and Water Conservation Monitoring Center, MWR, Beijing　100053, China; 4 Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, ARO, The Volcani Center, Bet Dagan　50-250, Israel*)

关键词　土壤结构稳定剂(PAM); 波涌沟灌; 微型水槽

中图分类号　S273 1, S274 6　　文献标识码　A

波涌灌溉(Surge irrigation, 即间歇灌溉) 是美国学者于 70 年代末提出的一种新型地面灌溉方式[1,2], 曾被称为是地面灌溉的一次 革命 。与传统地面连续灌溉相比, 主要是供水的间歇性。在灌水间歇期湿润区地表易形成密实层, 以减少第二次灌水时的入渗速度, 增加行水速度, 具有减少深层渗漏、提高灌水均匀度的作用。面对内蒙河套灌区 5.667　10^5 hm^2 低效的地面灌溉耕地, 提高地面灌水效率, 是减少引黄量、降低地下水位、防止土壤次生盐碱化的根本途径。为此, 在室内研究了波涌灌溉对当地典型土壤的作用效果。

土壤结构稳定剂(Polyacrylamide, 简称 PAM) 在农业中的应用近年来受到广泛关注。我国学者孙西欢等研究了波涌灌溉的节水机理[3], 王立正等研究了引黄灌区波涌灌溉的节水效果[4]。Sirjacobs 等[5]用两种不同的土壤进行研究, 发现 PAM 对土壤入渗率有着截然相反的效果: 对于黄(壤) 土, PAM 不但没有提高其入渗速度, 相反是降低了其入渗率, 但在改善土壤结构及防止沟蚀方面都有着显著的效果。因此, 该研究将 PAM 应用于波涌灌溉中, 室内模拟其对内蒙河套地区典型土壤的水分入渗效果的影响。

1　试验设计与安排

1 1　试验材料

供试土为内蒙河套地区的典型土壤。土壤干容重为 1.4 g cm^{-3}, 风干土含水率为 21.8 g kg^{-1}。土壤质地分析得到: 砂粒含量 69.2%; 粉粒 17.4%; 粘粒 13.4%。土壤属于轻粉质壤土。

试验用微型水槽见文献[6]。水槽槽身为有机玻璃板制作, 净长 100 cm, 宽 10 cm, 深 22 cm, 槽内盛装成宽 4.4 cm、深 2.2 cm 90 V 型土沟。两端各设一段 20 cm 长的 90 V 型过渡槽, 以利于行水, 槽宽 4.4 cm, 深 2.2 cm。

1 2　试验安排

试验分成连续灌水和间歇灌水两类。间歇灌水分成两个阶段, 第一阶段为间歇灌水期, 每次行水 2 min 间歇一次, 停水 5min、10min、15min, 共停水 3 次; 第二阶段为连续灌水阶段, 通过该阶段可以方便地比较间歇时间在以后连续灌水中的作用, 本阶段为 10 min。连续灌水处理行水时间和间歇灌水处理的总行水时间一致均为 16 min。各次试验前先调好流量, 打开水流的同时按下秒表, 记录入流时间, 并记录水头推至水槽末端的

* 中国　以色列国际合作项目(99w- 002 1422)、中国科学院 百人计划 (982602) 资助

作者简介: 雷廷武, 中国农业大学教授, 水土保持研究所研究员, CSAE 高级会员, 博士生导师。E-mail: ddragon@ public3. bta. net. cn

收稿日期: 2002- 06- 14; 收到修改稿日期: 2002- 12- 26

用时; 水流流出末端 V 槽进入水样桶时用另一秒表记录取样时间, 每个水样为 2 min 的时间。试验记录数据有入流量、出流量和产砂量等, 根据流入量与流出量之差确定入渗量, 通过烘干法确定侵蚀量。

1 3　试验设计

试验因素分别为: 间歇时间(A) ; PAM 浓度(B) ; 灌水流量(C) 和坡度(D) 。各因素的水平如表 1。

表 1　试验因素及水平

因素 水平	间歇时间(min) A	PAM 浓度 (mg kg^{-1}) B	灌水流量 (ml min^{-1}) C	坡　度 D
1	0	0	640	0.001
2	5	5.0	480	0.005
3	10	10.0	320	0.01
4	15	20.0	960	0.05

试验采用正交设计方案布置, 根据因素(扩充为 9 个) 及水平(4 个) 选择 $L_{32}(4^9)$ 正交表, 32 次试验。详细试验方案如表 2 所示。表中的数值 1、2、3、4 表示各因素的水平。

2　数据处理与结果分析

试验中各处理的入渗量如表 2 中最右一列。

各因素对入渗影响的方差分析计算结果列入表 3(计算方法与步骤略) 。

由表 3 知, PAM 浓度(因素 B) 对减少土壤水分入渗效果最为显著, 其次为流量(因素 C) 和间歇时间(因素 A) , 而坡度的影响则很小, 间歇时间和 PAM 之间的交互作用也不显著。下面分别分析 PAM 浓度、流量及间歇时间对土壤水分入渗的影响。

2 1　PAM 浓度对入渗的影响

对收集的不同灌水流量、不同 PAM 浓度下, 间歇时间内的土壤水分入渗量进行统计分析, 并绘成柱状图如图 1 所示。

表 2　详细试验方案及测量的入渗量

试验序号	因素 A 1	B 2	3	A B 4	5	C 6	D 7	空 8	空 9	考核指标 入渗量(g)	试验序号	因素 A 1	B 2	3	A B 4	5	C 6	D 7	空 8	空 9	考核指标 入渗量(g)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3 175.0	17	1	1	4	1	4	2	3	2	3	2 418.5
2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1 755.5	18	1	2	3	2	3	1	4	1	4	1 053.5
3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	510.0	19	1	3	2	3	2	4	1	4	1	653.0
4	1	4	4	4	4	4	4	4	4	965.5	20	1	4	1	4	1	3	2	3	2	273.5
5	2	1	1	2	2	3	3	4	4	1 005.5	21	2	1	4	2	3	4	1	3	2	958.0
6	2	2	2	1	1	4	4	3	3	732.0	22	2	2	3	1	4	3	2	4	1	655.5
7	2	3	3	4	4	1	1	2	2	945.5	23	2	3	2	4	1	2	3	1	4	770.0
8	2	4	4	3	3	2	2	1	1	651.0	24	2	4	1	3	2	1	4	2	3	647.5
9	3	1	2	3	4	1	2	3	4	2 339.5	25	3	1	3	3	1	2	4	4	2	1 725.0
10	3	2	1	4	3	2	1	4	3	1 532.5	26	3	2	4	4	2	1	3	3	1	1 328.5
11	3	3	4	1	2	3	4	1	2	240.5	27	3	3	1	1	3	4	2	2	4	615.5
12	3	4	3	2	1	4	3	2	1	696.0	28	3	4	2	2	4	3	1	1	3	1 175.5
13	4	1	2	4	3	3	4	2	1	664.0	29	4	1	3	4	2	4	2	1	3	554.0
14	4	2	1	3	4	4	3	1	2	773.0	30	4	2	4	3	1	3	1	2	4	470.5
15	4	3	4	2	1	1	2	4	3	853.0	31	4	3	1	2	4	2	4	3	1	566.5
16	4	4	3	1	2	2	1	3	4	878.0	32	4	4	2	1	3	1	3	4	2	1 044.0

注: 符号意义及单位见表 1

表 3　各因素对入渗影响方差分析表

方差来源	平方和	自由度	均方差	F	临界值
A	2 246 161.1	3	748 720.4	11.52* *	$F_{0.95}(3, 10) = 3.71$
B	4 287 198.1	3	1 429 066.0	22.00* *	$F_{0.99}(3, 10) = 6.55$
A　B	1 514 073.8	9	168 230.4	2.59	$F_{0.95}(9, 10) = 3.02$
C	3 733 545.0	3	1 244 515.0	19.16* *	$F_{0.99}(9, 10) = 4.94$
D	683 484.0	3	227 828.0	3.51	
剩余	649 672.3	10	64 967.2		

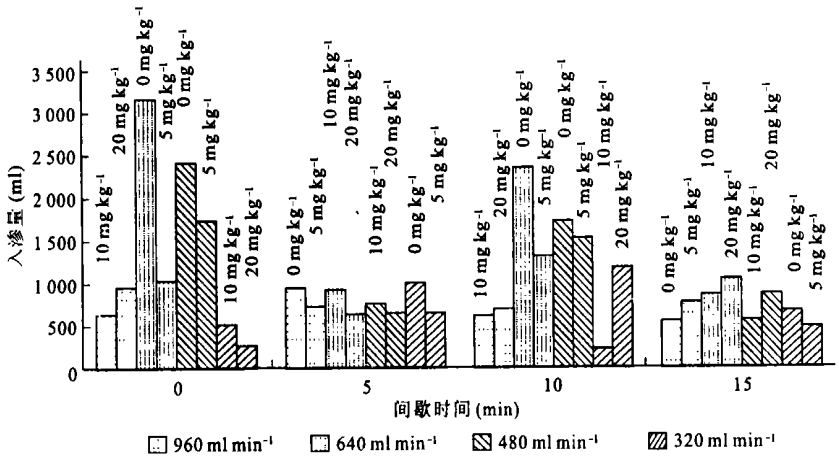

图 1 PAM 浓度对土壤入渗量的影响

由图 1 可看出, PAM 对该试验土壤的减渗作用是非常明显的, 尤其是在间歇时间为 0 即连续灌水情况下, 有 PAM 的处理即使是少量的(5 mg kg^{-1}) 都可大大降低入渗量, 达 30% 以上, 在流量为 640 ml min^{-1} 时达最大值 66.8%。不含 PAM 的处理在间歇灌水条件下的入渗量比相同流量情况下的入渗量都有很大的降低。在间歇灌溉时, 即使间歇 5 min, 减少入渗的效果也很明显。PAM 对入渗的减少, 与 Sirjacobs 等用黄土试验的结果相似[5], 可能与土壤性质(质地与结构) 有关, 主要表现在 PAM 分子链大于或相当于土壤空隙时, 对土壤空隙有一定的堵塞作用, 从而使得入渗降低。Yu 等也报道了这一机理(1)。

2.2 流量对入渗的影响

相同间歇时间和相同 PAM 浓度下不同流量对入渗的影响如图 2 所示。图 2 未能充分直观地显示流量对入渗的影响规律, 在间歇时间为 0(连续灌)、PAM 浓度为 0 时, 入渗量随流量增大而增加, 如流量为 640 ml min^{-1} 的入渗量明显比流量为 480 ml min^{-1} 的入渗量大, 而 PAM 的影响如前面讨论, 间歇时间的影响在后文讨论。由表 3 可见, 流量对入渗量的影响是高度显著的。

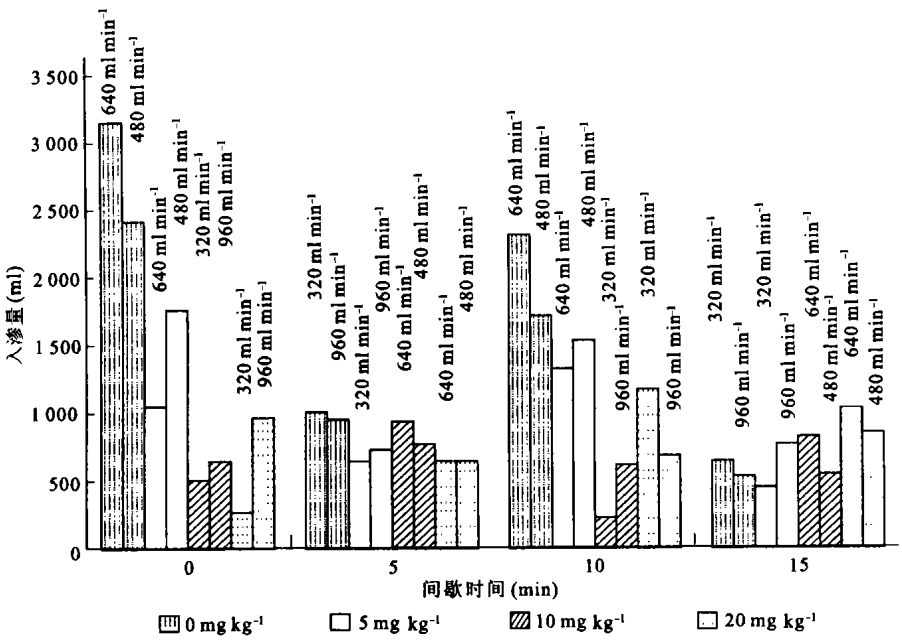

图 2 流量对土壤入渗量的影响

(1) Yu J, Lei T W, Shainberg I, *et al*. Infiltration and erosion in soils treated with dry PAM and gypsum

2 3　间歇时间对入渗的影响

同样的方法可以分析间歇时间对入渗率的作用, 如图 3。

由图3 可看出, 在 PAM 浓度为 0 时, 间歇灌水的减渗作用非常明显, 随着 PAM 的施入, 间歇时间所起的作用较小, 尤其是在小流量(320 ml min^{-1}) 情况下 PAM 浓度过大(20 mg kg^{-1})和过小(5 mg kg^{-1}), 间歇时间的加长甚至有增大入渗率的趋势。间歇时间最好的水平为间歇 15 min, 其次是 5 min, 而 PAM 的最好水平是 10 mg kg^{-1}, 其次才是 20 mg kg^{-1}。

综上所述, 有 PAM 处理和波涌间歇处理的入渗率大大低于不作处理的入渗率。因此, 对于内蒙河套地区土壤, 使用 PAM 及间歇灌水的作用是一致的, 均可减少入渗, 从而有利于提高灌水均匀度和灌溉效率。

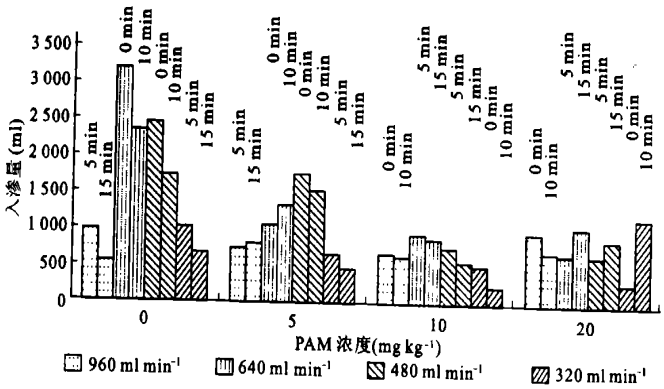

图 3　间歇时间对土壤入渗量的作用

3　结　论

通过室内微型水槽试验研究, 得到如下结果。PAM 的施入可以大大减小内蒙河套灌区典型土壤(砂壤土) 的入渗率, 对于改善该地区地面灌溉效率将会有很大的作用。间歇灌水可以降低该地区土壤水分入渗率。PAM 和波涌灌溉之间的交互作用对入渗率的影响不显著, 因此在以后的研究中可以不考虑其交互作用。流量对入渗的影响作用虽然非常显著, 但其影响规律需另作研究。PAM 与波涌灌溉在内蒙河套灌区中都可用来改善内蒙河套灌区的地面灌溉效率。

参 考 文 献

[1]　Walker W R, Skogerboe G V. Surface Irrigation-Theory and Practice. Utah State University, Prentice-hall Press, 1987. 212~234

[2]　刘洪禄, 曾德超, 杨培岭, 等. 波涌灌田面行水流动的数值模拟及其灌水技术研究. 中国农业大学学报, 1998, 3(2): 75~79

[3]　孙西欢, 王文焰. 波涌沟灌节水机理与效果的试验分析. 农业工程学报, 1997, 13(4): 53~57

[4]　王立正, 刘国富, 张可保. 波涌沟灌在引黄灌区的节水效果及其影响因素. 灌溉排水, 1997, 16(4): 42~44

[5]　Sirjacobs D, Shainberg I, Rapp I, *et al*. Polyacrylamide, sediments, and interrupted flow effects on rill erosion and intake rate. Soil Sci. Soc. Am. J., 2000, 64: 1 487~1 495

[6]　雷廷武, 袁普金, 黄兴法, 等. 沟灌土壤侵蚀控制效应的室内模拟试验研究. 农业工程学报, 2002, 18(3): 26~30