

## 波涌灌溉和 PAM 作用下内蒙古河套灌区水蚀的试验研究

袁普金<sup>1</sup> 黄兴法<sup>2</sup> 雷廷武<sup>3</sup> 张建国<sup>4</sup> 詹卫华<sup>3</sup> 王建平<sup>4</sup> 刘志忠<sup>4</sup> 姚春梅<sup>3</sup>

(1. 水利部水土保持监测中心; 2. 中国农业大学机械工程学院;  
3. 中国农业大学土木与水利工程学院; 4. 内蒙古自治区巴彦淖尔盟水利科学研究所)

**摘要** 在内蒙古河套灌区采用波涌灌溉, 施用 PAM (土壤结构稳定剂) 和利用地下咸水灌溉等不同处理进行了玉米地水蚀作用的试验研究。结果表明, 灌溉方式在防止沟中水蚀方面没有太大作用, 而施用 PAM 却有显著效果, 灌溉水中 PAM 的质量分数  $w(\text{PAM})$  为  $10 \times 10^{-6}$  时基本上可以起到防止水蚀的作用。在连续灌溉方式下,  $w(\text{PAM})$  为  $10 \times 10^{-6}$  的处理中水样含沙量只有对照的 14.57%; 而在波涌灌溉方式下,  $w(\text{PAM})$  相同的处理中水样含沙量仅为对照的 0.91%;  $w(\text{PAM})$  为  $20 \times 10^{-6}$  的各处理中水样含沙量基本上为 0 或接近 0。

**关键词** 波涌灌溉; 土壤结构稳定剂(PAM); 水蚀

**中图分类号** S 157.1

## Experimental Study on Soil Water Erosion Under Surge Irrigation and Use of PAM in Hetao Irrigation Region, Inner Mongolia

Yuan Pujin<sup>1</sup>, Huang Xingfa<sup>2</sup>, Lei Tingwu<sup>3</sup>, Zhang Jianguo<sup>4</sup>, Zhan Weihua<sup>3</sup>,  
Wang Jianping<sup>4</sup>, Liu Zhizhong<sup>4</sup>, Yao Chumei<sup>3</sup>

(1. Water Conservancy and Monitoring Central, Ministry of Water Conservancy, Beijing 100053, China;

2. College of Machinery Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

3. College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

4. Baoyannur League Institute of Water Resources, Linhe, Inner Mongolia 015000, China)

**Abstract** Experimental study of effects of surge irrigation, PAM, and irrigation with saline ground water on soil water erosion was carried out in Hetao Irrigation District, Inner Mongolia. Experiment results show that, there was little influence of irrigation methods such as surge irrigation and continuous irrigation on soil water erosion, while great effect of PAM application on it. The sediment content in the treatment with  $w(\text{PAM}) = 10 \times 10^{-6}$  was just 14.57% of that in treatment without PAM under continuous irrigation. While under surge irrigation, that was as little as 0.91% of the amount in no PAM treatment. Soil water erosion in irrigation field can be mostly prevented by applying PAM with concentration as low as  $10 \times 10^{-6}$ . When PAM concentration reaches as high as  $20 \times 10^{-6}$ , there will be almost no sediment in the flow of irrigation water in furrows.

收稿日期: 2001-11-22

中国-以色列科学与战略研究开发专项项目, 国家自然科学基金重大项目(19832060)

袁普金, 北京白广路北口 水利部水土保持监测中心, 100053

黄兴法, 北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区) 146 信箱, 100083

**Key words** surge irrigation; PAM; soil erosion

内蒙古河套地区主要种植小麦、玉米、向日葵、甜菜等。该地区属于干旱地区, 年降水量仅 200~240 mm; 土壤类型主要为壤土和轻黏土, 土壤结构不稳定, 容易流失; 主要依靠黄河水灌溉, 河水中泥沙的质量分数为 0.2%~0.7%。该地区主要采取地面浇灌方式, 每年引用黄河水超过 50 亿  $\text{m}^3$ , 灌溉面积约 60 万  $\text{hm}^2$ 。目前该地区还有约 20 万  $\text{hm}^2$  的土地准备开垦, 但是由于全国水资源日益紧缺, 分配给该地区的引黄水量将由 50 亿  $\text{m}^3$  降低到 33 亿  $\text{m}^3$ 。水资源短缺和严重的水土流失已成为该地区亟待解决的问题。

用土壤结构稳定剂(PAM)可以改良灌溉土地的土壤结构, 减少土壤流失并增大土壤的入渗量<sup>[1-3]</sup>。近五六年来, 这种方法在美国、以色列等国家受到极为广泛的关注。

波涌灌溉是一种较为先进的沟灌方式, 可以提高灌水均匀度, 从而提高沟灌效率<sup>[4]</sup>。该灌溉方法通过下列过程提高灌溉效率: 1) 增加行水速率, 减少地头(上游)与地尾(下游)的入渗几率时间差异; 2) 降低地头(上游)灌水沟内的入渗率<sup>[5]</sup>。研究发现, 波涌灌溉还可以通过灌水间歇期间土壤表面的固结及土壤颗粒的膨胀作用, 增大土壤颗粒间的黏聚力, 起到减轻沟内水侵蚀的作用<sup>[6]</sup>。波涌灌溉的效率取决于土壤与水的物理特性, 需通过试验确定。

沟灌尾水中含沙量较大。一般情况下, 由沟灌地块排出的尾水中每年可夹带走 5~10  $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$  泥沙<sup>[7]</sup>。沉积在沟内表面上的泥沙形成一种“沉积封闭层”, 大大降低了土壤的透水性<sup>[8]</sup>。用 PAM 改良地面灌溉地块的土壤, 可以降低沟内水蚀并增大水的入渗量<sup>[1,2]</sup>。笔者对 PAM 的施用方法(在灌溉水中的施用量、施用时间与频度)和灌溉方式(连续沟灌与波涌灌溉)对内蒙古河套灌区水蚀的影响进行了试验研究。

## 1 试验方法

田间试验地选在巴盟水科所长胜试验站内, 试验地为相邻的 2 块, 一块为沟灌田, 另一块为漫灌田, 面积均为 180 m × 30 m。试验区四周采用暗管排水方法来控制地下水, 与外界地下水源隔离, 控制深度 1.8~2.0 m。在试区的上中下游各布置一眼地下水观测井, 用于确定试验地地下水水位及地下水矿化度。

供试作物均为“浙单 14”玉米, 播种日期为 2000 年 4 月 25 日。沟灌田参数: 行距为大行 80 cm, 小行 40 cm; 株距 27 cm; 排列方式为 1 大 1 小, 大行开沟, 小行不开, 一沟控制 2 行。沟的规格: 开口 60 cm, 收底 30 cm, 深 30 cm, 其中 18 条沟为处理(包括不同的灌溉方式、不同的灌溉水质、不同的 PAM 量和不同的入沟流量, 每个处理进行 2 次重复), 6 条沟为对照(连续灌水, 不混合井水, 不施加 PAM)。

漫灌田采用传统的漫灌方式, 供试作物与沟灌田相同。玉米生育期内对两试验地块均灌水 2 次, 进行 2 次田间灌水试验, 分别在 2000 年 7 月 6 日和 31 日进行。

试验地土壤状况: 0~80 cm 砂壤土; 80~90 cm 黏土; 90~100 cm 砂壤土; 黄河水中泥沙质量浓度最低一般为 0.9  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ; 灌水期间一般为 3~5  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。通过对地下水观测井的水样测定, 得知地下水矿化度: 4 月份为 4.3  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 6 月份为 3.9  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

对田间试验所用的土壤成分进行了室内测定: 先风干土样, 过 4 mm 筛后测定其颗粒成分, 测定结果如表 1 所示。根据美国农业部土壤质地分类法可确定试验地土壤为砂壤土<sup>[9]</sup>。风

干后土样含水率为 2.81%，密度  $1.4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

表 1 试验土壤中各级颗粒的质量分数

表 1 试验土壤中各级颗粒的质量分数						%
砂粒粒径/mm				粉粒粒径/mm		黏粒粒径/mm
1~ 0.5	0.5~ 0.25	0.25~ 0.1	0.1~ 0.05	0.05~ 0.001	< 0.001	
0.37	0.72	23.31	44.80	17.40	13.40	

试验按 4 因素 3 水平的正交试验要求布置, 如表 2 所示, 9 个处理在田间按沟的顺序依次排列, 每个处理 2 次重复。

表 2 田间试验因素与水平

沟 号	因 素			
	A 灌溉方式	B $w(\text{PAM})/10^{-6}$	C $\alpha(\text{井水})/\%$	D 入沟流量/ $(\text{L} \cdot \text{s}^{-1})$
T1	2(波涌灌)	3(20)	1(0)	2(3.0)
T2	2(波涌灌)	2(10)	1(0)	2(3.0)
T3	1(连续灌)	1(0)	1(0)	1(1.5)
T4	1(连续灌)	2(10)	2(10)	2(3.0)
T5	2(波涌灌)	1(0)	2(10)	2(3.0)
T6	2(波涌灌)	3(20)	2(10)	1(1.5)
T7	1(连续灌)	3(20)	3(20)	2(3.0)
T8	2(波涌灌)	1(0)	3(20)	2(3.0)
T9	2(波涌灌)	2(10)	3(20)	1(1.5)

注:  $w(\text{PAM})$  为灌溉水中 PAM 的质量分数;  $\alpha(\text{井水})$  为灌溉水中井水的体积分数。

## 2 试验结果与分析

为定量比较沟灌中各因素对水蚀程度的影响, 以沟内水流中泥沙的质量分数表示水蚀程度, 用烘干法确定水中泥沙质量分数。

### 2.1 沟灌中 PAM 对水蚀的影响

试验结果表明, 在加入 PAM 的处理中, 水流基本为清水, 而未加 PAM 的对照处理则自入水口到沟尾都是浑水, 即使在波涌灌溉方式下也是一样, 这说明 PAM 对土壤结构有很好的稳定作用。

为研究沟灌中 PAM 对水蚀的影响, 将其他因素固定或忽略, 仅观察分析水蚀量与  $w(\text{PAM})$  的关系。每个处理中取样点 17 个, 每 10m 1 个; 每个点取样 4 个; 含沙量为 17 个样品(水样总质量为 6.8 kg) 含沙量的总和。

从图 1 中可以明显地看出, 随着  $w(\text{PAM})$  的增大, 水中泥沙含量急剧下降。在连续灌溉情况下,  $w(\text{PAM})$  为  $10 \times 10^{-6}$  的处理, 水样中含沙量为对照处理的 14.57%, 而在波涌灌溉方式

下,  $w(\text{PAM})$  相同的处理, 水样中含沙量只有对照处理的 0.91%。  $w(\text{PAM})$  为  $20 \times 10^{-6}$  时, 在连续灌水方式下基本可以防止水蚀的产生。可以看出, PAM 对于内蒙古河套地区的这种砂壤土有着非常明显的稳定作用, 而且  $w(\text{PAM})$  为  $10 \times 10^{-6}$  时, 基本可以起到防止水蚀的作用。

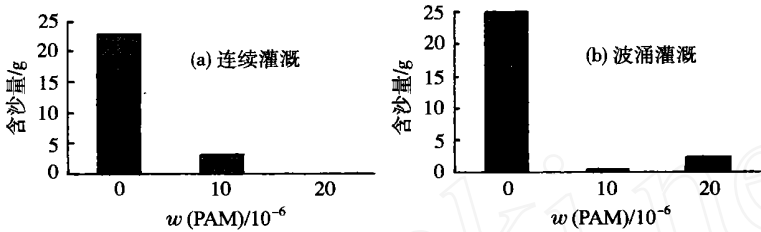


图 1 沟灌中  $w(\text{PAM})$  对水蚀的影响

图 2 示出无 PAM 的各处理沿沟长方向水流中泥沙含量的变化情况。可以看出, 总的变化趋势是, 在沟的前部 (前 50m 左右) 水流中泥沙含量较高, 而再往后, 泥沙含量逐渐减少。其中, 淡水 (井水体积分数  $\varphi(\text{井水}) = 0$ ) 连续灌溉处理的泥沙含量变化一直比咸水 ( $\varphi(\text{井水})$  分别为 10% 和 20%) 波涌灌溉处理的稳定得多。这说明波涌灌溉处理下沟的前半段水蚀比较严重, 而后半段情况与连续灌溉处理相近, 甚至稍轻一些。

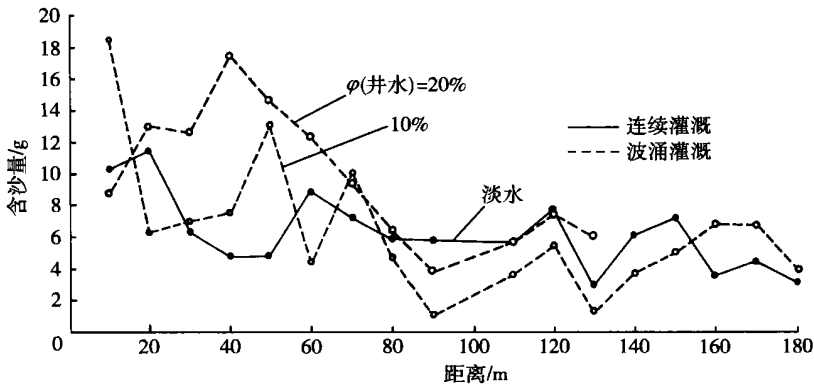


图 2 无 PAM 处理时沿沟长方向水流中含沙量的变化

施用 PAM 的各处理, 当  $w(\text{PAM})$  为  $20 \times 10^{-6}$  时, 水流中基本没有泥沙, 或只在水沟的前 10m 处有少量泥沙, 再往后水流很清, 不含泥沙; 当  $w(\text{PAM})$  为  $10 \times 10^{-6}$  时, 也只在沟的前 60m 的水流中含有少量泥沙, 且其含量比无 PAM 的各处理要低得多, 再往后水流也较清, 基本不含泥沙。

### 2.2 波涌灌溉的间歇时间对水蚀的影响

为研究间歇时间对沟灌中水蚀的影响, 将其余因素固定或忽略, 仅观察分析波涌灌溉的间歇时间与水蚀量的关系 (图 3)。可以看出, 灌水方式对水蚀的影响不大。在没有 PAM 的处理中, 连续灌溉方式和波涌灌溉方式的水样中泥沙含量都相对较高, 且相差不多, 说明波涌灌溉方式不能显著降低沟灌中的水蚀程度, 同样, 在加入了 PAM 的处理中 (图 3(b), (c)), 不论是连续灌溉方式还是波涌灌溉方式, 其水样中泥沙含量都很低, 其间的差别也比较小。

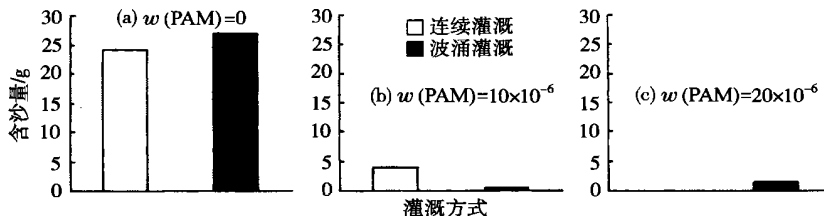


图3 沟灌中间歇时间对水蚀的影响

### 3 结论

灌溉方式在防止沟灌水蚀方面没有太大的作用,而PAM却有着显著的效果, $w(\text{PAM})$ 为 $10 \times 10^{-6}$ 就基本上可以起到防止水蚀的作用。在连续灌溉方式下, $w(\text{PAM})$ 为 $10 \times 10^{-6}$ 处理中的含沙量只有对照处理的14.57%,而在波涌灌溉方式下, $w(\text{PAM})$ 为 $10 \times 10^{-6}$ 的处理中水的含沙量只有对照处理的0.91%。

### 参 考 文 献

- 1 Lentz R D, Shainberg I, Sojka R E, et al Preventing irrigation furrow erosion with small application of polymers Soil Sci Soc Am J, 1992, 56: 1926~ 1932
- 2 Sojka R E, Lentz R D, Westerman D T. Water and erosion management with multiple applications of PAM in furrow irrigation Soil Sci Soc Am J, 1998, 62: 1672~ 1680
- 3 Wolters W. Influences on the Efficiency of Irrigation Water Use Wageningen: LRI Publish, 1992 150p
- 4 Stringham G E. Interrupted flow irrigation. Final report of the Western Regional Research Project W-163 Research Bulletin 515. Utah Agricultural Experiment Station. Utah State University, 1988
- 5 Kemper W D, Trout T J, Humphreys A S. Mechanisms by which interrupted irrigation reduces rill infiltration rate in a silty loam soil Trans of ASA E, 1988, 31: 821~ 829
- 6 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(6): 311~ 309
- 7 Lentz R D, Shainberg I, Sojka R E, et al Preventing irrigation furrow erosion with small application of polymers Soil Sci Soc Am J, 1992, 56: 1926~ 1932
- 8 Trout T J. Surface seal influences on the efficiency of interrupted flow rill infiltration. Trans of ASA E, 1991, 34: 66~ 72
- 9 华 孟, 王 坚 土壤物理学 北京: 北京农业大学出版社, 1993 9~ 13