

不同类型滴头在黄河水滴灌条件下的堵塞特征研究

郭庆¹, 李田田², 杨建飞³

(1. 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 3. 周至县农业农村局, 西安 710400)

摘要: 【目的】探明黄河水滴灌条件下滴头类型和结构对滴头堵塞特性的影响, 为引黄灌区滴灌系统滴头选型提供科学依据。【方法】选用不同进水口结构(有凸台、无凸台)和不同类型(非补偿片式、非补偿圆柱式和补偿圆柱式)的 6 种迷宫流道滴头进行短周期间歇性灌水试验, 对比分析 6 种滴头的流量变化规律和堵塞状况。【结果】滴头类型和进水口结构对滴头堵塞具有显著影响, 不同类型滴头在灌溉过程中的相对流量均发生了不同程度下降, 其中无凸台结构的补偿圆柱式滴头 E4 流量下降速率最快, 堵塞程度最严重, 有凸台结构的非补偿圆柱式滴头 E6 流量下降速率最慢, 滴头堵塞程度最轻; 滴头进水口凸台结构可有效减缓泥沙颗粒在流道入口处的沉积, 减小滴头流量下降速率, 降低滴头堵塞率; 与无凸台结构滴头中抗堵塞性最优的 E5 滴头相比, 有凸台结构的 E6 滴头相对流量提升了 14.81%, 滴头堵塞率降低了 46.63%。【结论】黄河水滴灌时选择具有进水凸台结构的非补偿圆柱式滴头可有效提高滴灌系统的使用寿命。

关键词: 黄河水; 滴灌; 堵塞; 进水口结构

中图分类号: S275.6

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022270

OSID:



郭庆, 李田田, 杨建飞. 不同类型滴头在黄河水滴灌条件下的堵塞特征研究[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(12): 52-58.

GUO Qing, LI Tiantian, YANG Jianfei. Clogging of Different Emitters in Using Yellow River Water for Dripping Irrigation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(12): 52-58.

0 引言

【研究意义】随着我国干旱半干旱地区灌溉水资源的日益紧缺, 利用黄河水灌溉已成为缓解该地区灌溉用水紧缺的有效途径^[1]。滴头作为滴灌系统的核心部件, 灌溉过程中狭窄的流道易被水中泥沙附着而造成堵塞, 严重降低滴灌系统的灌水效率和使用寿命^[2]。因此, 如何提高滴灌系统的抗堵塞性能已成为热点问题。

【研究进展】研究发现, 进水口结构对滴头抗堵塞性能具有较大影响。刘燕芳等^[3]通过滴灌试验发现, 滴头进水口结构和尺寸是影响滴头抗堵塞性能的重要因素。谢巧丽等^[4]研究发现, 滴头流量与进水口截面积、滴头抗堵塞性与进水口栅格高度呈正相关。郭庆等^[5]通过含沙水滴灌试验研究发现, 滴头进水口尺寸越大, 泥沙颗粒在进水口处沉积的风险越低, 滴头抗堵塞性能则越强。滴头进水口结构影响水流流动特性, 从而改变泥沙颗粒的输移速率, 最终决定滴头抗堵塞特性。此外, 大量研究表明, 减缓泥沙颗粒在滴

头进水口处的附着, 降低滴头入口堵塞风险是提高滴头抗堵塞性的有效途径之一^[6-9]。【切入点】因此, 通过设计具有阻止泥沙颗粒在进水口处沉积的滴头结构来降低泥沙颗粒在滴头进水口处的沉积风险, 促进泥沙颗粒在流道内的输移, 是增强滴头抗堵塞性能的有效思路。然而, 目前针对进水口结构对迷宫流道滴头堵塞特性的影响研究主要集中于数值模拟研究, 试验研究主要侧重于同类型滴头研究, 而对于不同进水口结构下的多种类型滴头的堵塞动态变化过程研究较少, 且各滴头抗堵塞性能之间的差异性不明确, 有待于进一步研究。【拟解决的关键问题】鉴于此, 本研究选用不同进水口结构(有凸台、无凸台)和不同类型(非补偿片式、非补偿圆柱式和补偿圆柱式)的 6 种迷宫流道滴头进行短周期间歇性灌水试验, 对比分析黄河水滴灌条件下不同结构滴头的堵塞动态变化过程, 明确滴头类型和进水口结构对滴头水力性能和抗堵塞性能的影响。本研究结果可为引黄灌区滴灌系统滴头结构的选型提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

依据文献[3,10], 内镶贴片式滴灌带更适用于引黄灌区灌溉, 内镶圆柱式滴灌带(管)更适用于高含沙水灌溉, 为进一步明确黄河水滴灌条件下不同进水

收稿日期: 2022-05-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(52079112, 51679205); 山东省重大科技创新工程项目(2020CXGC010808); 杨凌职业技术学院自然科学基金项目(ZK21-04)

作者简介: 郭庆(1984-), 男, 讲师, 主要从事节水灌溉技术研究。

E-mail: ylzgyuqing@163.com

口结构的多种类型滴头的堵塞动态变化过程,本研究选用常见的 3 种非压力补偿内镶贴片式滴灌带(E1~E3,简称片式滴头)、1 种压力补偿内镶圆柱式滴灌管(E4,简称补偿圆柱式滴头)和自研的 2 种非压力补偿内镶圆柱式滴灌管(E5~E6,简称非补偿圆柱式滴头,2 种滴头除有无凸台的区别外,其他结构完全相同)作为研究对象,各滴头结构参数如表 1 所

表 1 试验用滴头参数

Table 1 Parameters of the dripper used in the test

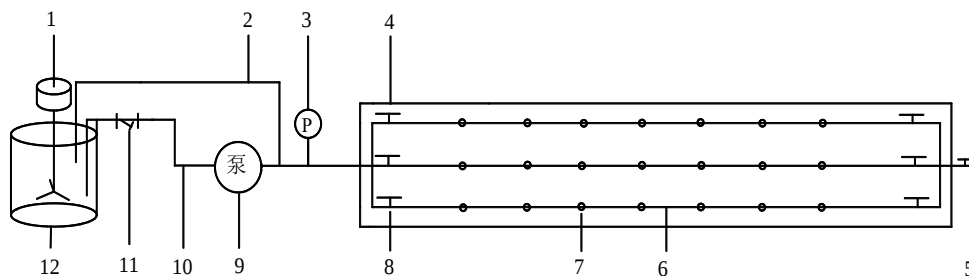
滴头 编号	进水 凸台	凸台 高度/mm	压力 补偿	额定 压力/KPa	额定流量/ (L h ⁻¹)	制造 偏差/%	Z/mm	min(D,W)/mm	L/mm	进水栅格/ (mm×mm)	流道 单元数/个
E1	无	0	否	100	1.50	1.93	1.38	0.72	21.02	0.8×0.4	12
E2	无	0	否	100	1.96	1.53	1.38	0.58	36.14	1.1×0.6	13
E3	无	0	否	100	2.44	2.57	1.40	0.60	19.06	0.6×0.4	11
E4	无	0	是	60~300	1.77	2.03	1.75	1.30	61.16	1.5×0.8	23
E5	无	0	否	100	2.02	4.52	2.16	1.27	107.18	0.8×0.5	25
E6	有	4.33	否	100	2.02	2.93	2.16	1.27	107.18	0.8×0.5	25

试验用沙取自杨凌渭河漫滩,经自然风干后过 150 目筛网(0.10 mm)筛出。筛分后的泥沙粒径范围为 0~0.01、0.01~0.02、0.02~0.05 mm 和 0.05~0.10 mm 的颗粒占比分别为 5.65%、9.34%、36.51%和 48.50%。以宁夏段黄河引水渠含沙量(0.61~1.1 g/L)为依据,配置含沙量为 1.0 g/L 的浑水进行滴头堵塞试验。试验用水为自来水,pH 值为 7.93,悬浮物质量浓度为 129 mg/L,电导率为 295 μS/cm,总硬度为 76 mg/L,细菌的菌体质量浓度小于 1 cfu/mL,符合灌水标准^[11]。

示(表中 D 为滴头流道宽度, W 为滴头流道深度, L 为流道长度, Z 为流道齿间距),每条滴灌带上滴头总数分别为 18、18、18、20、22、22 个,由于待测的滴灌带长度(6 m)较短且滴头排列相对紧密,因此可忽略滴头的水力流量偏差,即认定所有滴头的工作环境相同。本研究使用的自研滴灌管(E5~E6)的流道形式和结构尺寸与传统滴灌管存在较大差异。

1.2 试验装置

滴头抗堵塞试验装置如图 1 所示。试验装置由支撑平台(长 6 m,宽 0.5 m,高 0.6 m)、蓄水桶(直径 0.6 m,高 0.6 m)、搅拌机(功率 0.75 kW)、网式过滤器(150 目)、自吸泵(功率 0.75 kW,扬程 60 m)、进水管、阀门、回水槽、压力表(量程 0.2 MPa,精度 20%)及待测定的滴灌带组成。待测滴灌带铺设于支撑平台上,浑水试验时每个支撑平台上铺设 3 根 6 m 长的同种滴灌带进行滴头抗堵塞性能测试。



注 1-搅拌机, 2-出水管, 3-压力表, 4-支撑平台, 5-冲洗阀门, 6-滴灌带, 7-滴头, 8-进水管, 9-自吸泵, 10-进水管, 11-网式过滤器, 12-蓄水桶。

图 1 试验装置示意

Fig.1 Schematic diagram of the test platform

1.3 试验设计与方法

本试验分为清水条件下的水力性能试验和浑水条件下的堵塞试验。

1.3.1 清水试验及水力性能评价

清水试验按照 GB/T17187—2009 的标准^[12]要求进行,在 0.02~0.12 MPa 进水口压力下依次测试 6 种滴头的流量,测试压力间隔为 0.02 MPa。测试方法为:打开测试平台阀门,调节压力表读数,待压力表读数稳定在待测值后,将 1 000 mL 的烧杯依次置于待测滴头下方,测定每个滴头的流量,测定时长为 10 min,

每组重复 3 次取均值作为其在每个压力点上的流量值。

滴头流量和压力的关系为:

$$q=k_d h^x, \quad (1)$$

式中: q 为滴头流量(L/h); h 为进水口压力(kPa); k_d 为流量系数,反映流量波动程度,其值越小时,流量波动越小; x 为流态指数,反映了滴头流量对进水口压力变化的敏感程度,其值越小时,毛管上各滴头出流量偏差较小,毛管灌水均匀性较强^[13-14]。

1.3.2 浑水试验及抗堵塞性能评价

清水试验结束后进行浑水堵塞测试试验,堵塞试

验采用周期性间歇灌水测试法, 测试压力为 0.1 MPa, 灌水频率为每日 2 次, 每次灌水时长为 1.5 h, 相邻灌水间歇时长为 0.5 h。每次灌水结束前 10 min, 当压力表读数稳定在 0.1 MPa 后测定滴灌带各滴头的流量, 每组重复 3 次后取平均值, 累计灌水 20 次后结束试验, 取下滴灌带清洗测试平台, 更换新的滴灌带进行下一组试验。为保证浑水均匀性, 试验过程中搅拌机持续工作, 且每灌水 2 次后配置新的浑水进行试验。

平均相对流量 (D_{ra}) 和灌水均匀度 (C_u) 可表征滴灌带的整体堵塞水平, 当滴头实测浑水流量与相同压力条件下的清水流量比值 (D_{ra}) 小于 75%、均匀度 (C_u) 小于 80% 时, 判定滴头发生堵塞, D_{ra} 、 C_u 越小, 表明滴头堵塞越严重^[15]。滴头堵塞率 (η) 定义为灌水期间发生堵塞 ($D_{ra} < 75\%$) 的滴头数与该处理下滴头总数的比值。

1.4 数据分析与方法

采用 SPSS 25.0 软件进行数据统计分析, 采用主效应方差分析滴头类型和进水口结构对滴头抗堵塞性能的影响, 采用 LSD 法检验各处理差异性, 利用 Excel 2016 和 CAD 2014 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 滴头水力性能结果分析

滴头水力特性参数统计结果如表 2 所示。不同结构滴头流量系数、流态指数均存在显著差异 ($P < 0.05$), 其中 E1 滴头的流量系数显著小于 E2~E6 滴头, E6 滴头的流态指数显著大于 E1~E5 滴头, 可见 6 种滴

头中, E1 滴头的流量系数最小, 滴头出流较稳定, 而 E6 滴头的流态指数最大, 滴头出流均匀性较差。

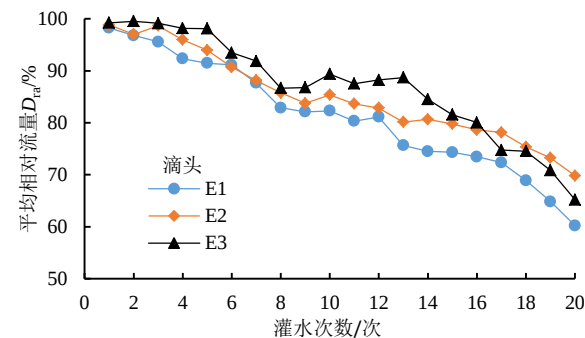
2.2 滴头相对流量和均匀度变化过程分析

滴头流量和均匀度随灌水时长的动态变化如图 2 所示。整个灌水过程中, 片式滴头 E1~E3 的相对流量、均匀度的下降趋势较为相似, 而圆柱式滴头 E4~E6 存在较大差异。其中, 滴头 E4 在整个灌水过程中的相对流量、均匀度均呈直线下降趋势, 滴头 E5 在灌水前期 (1~7 次灌水) 呈快速下降趋势, 之后呈缓慢下降趋势, 而滴头 E6 在灌水前期的相对流量、均匀度在 95% 附近呈波动性变化, 灌水中后期 (12~15 次灌水) 相对流量呈快速下降趋势, 之后相对流量在 86% 附近波动变化。灌水结束时, 滴头 E1~E6 流量分别下降 39.79%、30.18%、34.78%、49.45%、25.70% 和 14.70%, 均匀度分别下降 26.53%、34.64%、40.50%、47.83%、29.10% 和 15.77%。从各滴头相对流量和均匀度的下降程度来看, E6 滴头的抗堵塞性能最优, 而 E4 滴头最差。

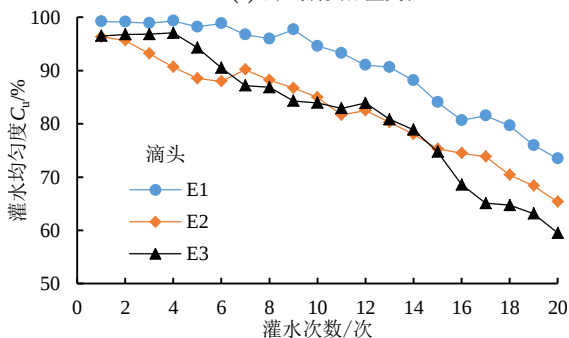
表 2 滴头水力性能显著性分析

Table 2 Significant analysis of hydraulic performance of dripper

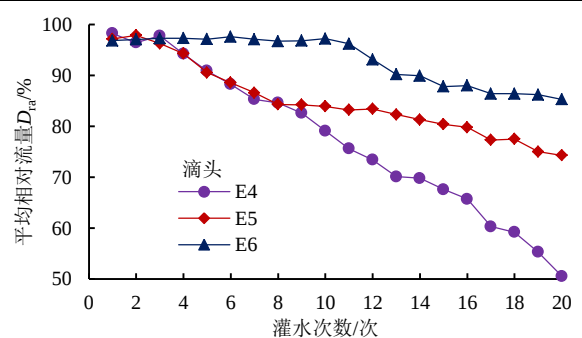
滴头编号	测试压力 范围/MPa	流量变化 范围/(L h ⁻¹)	流量系数 平均值	流态指数 平均值
E1	0.02~0.12	1.61~0.66	0.152f	0.496d
E2	0.02~0.12	2.16~0.87	0.198c	0.500c
E3	0.02~0.12	2.62~1.12	0.275b	0.473e
E4	0.02~0.12	1.83~0.90	0.364a	0.348f
E5	0.02~0.12	2.29~0.89	0.190d	0.517b
E6	0.02~0.12	2.34~0.83	0.171e	0.545a



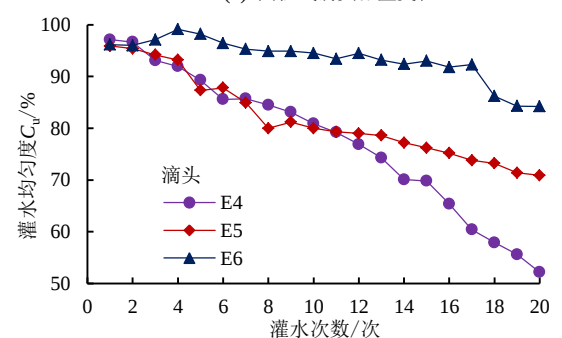
(a) 片式滴头流量变化



(c) 片式滴头均匀度变化



(b) 圆柱式滴头流量变化



(d) 圆柱式滴头均匀度变化

图 2 滴头相对流量、均匀度动态变化过程

Fig.2 The dynamic change process of the relative flow and uniformity of the dripper

由表 3 可知, 不同结构滴头之间存在显著差异 ($P<0.05$)。其中, 片式滴头中 E2 滴头的流量最大, 抗堵塞性能最优, 而 E1 滴头最差, 圆柱式滴头中 E6 滴头的流量最大, 抗堵塞性能最优, 而 E4 滴头最差。此外, 由表 4 可知, 滴头类型和进水口结构对滴头堵塞具有极显著影响 ($P<0.01$)。由此可知, 滴头的抗堵塞性能与滴头类型和进水口结构密切相关。

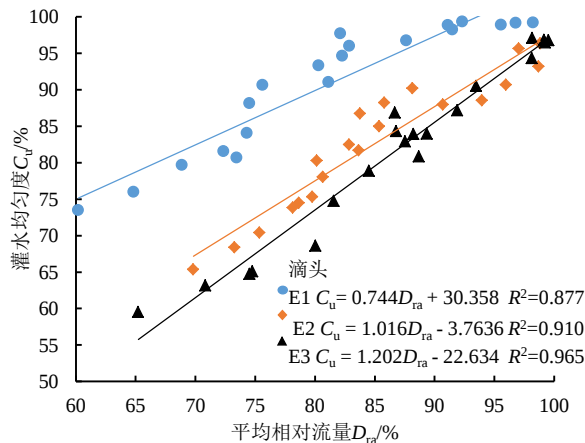
表 3 滴头相对流量和均匀度的显著性分析

Table 3 Significance analysis of the relative flow and uniformity of the dripper

滴头编号	相对流量	灌水均匀度
E1	60.21±0.41e	73.47±0.50b
E2	69.82±0.64c	65.36±0.68d
E3	65.22±0.23d	59.50±0.50e
E4	50.55±0.42f	52.17±0.61f
E5	74.30±0.64b	70.90±0.67c
E6	85.30±0.73a	84.23±0.81a

2.3 滴头相对流量和均匀度协同变化过程分析

由图 3 可知, 滴头相对流量和均匀度的变化过程具有协同性, 即随着灌水时长的增加而同步降低, 且



(a) 片式滴头

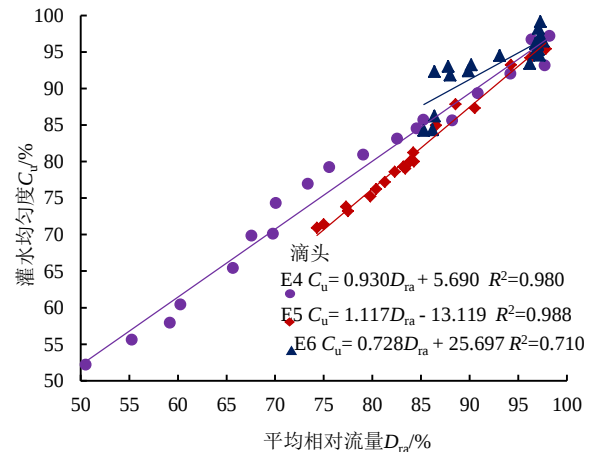
二者之间呈线性相关。其中, 片式滴头 E1~E3 的拟合斜率分别为 0.744、1.016 和 1.202, 圆柱式滴头 E4~E6 的拟合斜率分别为 0.930、1.117 和 0.728。E2、E3 和 E5 滴头的拟合斜率大于 1, 而 E1、E4 和 E6 滴头的拟合斜率小于 1, 斜率大于 1 表明滴头相对流量的下降速率大于均匀度的下降速率, 即在滴灌过程中滴灌带上的滴头堵塞进程较为均匀, 没有出现或极少出现滴头发生突然完全堵塞现象, 斜率小于 1 则相反。因此, 与滴头 E1、E4 和 E6 相比, 滴头 E2、E3 和 E5 不易发生突然堵塞, 潜在的堵塞主要是由泥沙缓慢沉积所导致的。

表 4 滴头类型和进水口结构对滴头相对流量影响的方差分析

Table 4 Variance analysis of the influence of dripper type and water inlet structure on the relative flow of the dripper dripper

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值
滴头类型	1 822.678	2	911.339	44.540**
进水口结构	1 132.805	1	1 132.805	18.183**

注 **表示在 $P<0.01$ 水平差异显著。



(b) 圆柱式滴头

图 3 滴头相对流量与均匀度协同变化过程

Fig.3 The synergistic change process of the relative flow and uniformity of the dripper

2.4 滴头堵塞动态变化过程分析

滴灌过程中, 滴头堵塞动态变化过程 (完全堵塞 ($D_{ra}=0$)、堵塞 ($0<D_{ra}\leq 75\%$)、无堵塞 ($D_{ra}>75\%$)) 如表 5 所示。其中, 滴头 E4~E5 在灌水前期最先出现堵塞, 而其他滴头均未出现。灌水中期各滴头均发生不同程度堵塞, 其中 E3~E5 滴头最先发生完全堵塞, 其发生完全堵塞的滴头占比分别为 11.11%、6.67% 和 4.45%, 灌水后期滴头 E1~E5 堵塞速率呈快速增加趋势, 而 E6 滴头呈缓慢增加趋势。灌水结束时, 滴头 E1~E6 堵塞占比分别为 44.44%、22.22%、33.33%、56.67%、22.73% 和 12.13%。对比可知, 滴头 E6 堵塞占比最小, 抗堵塞性能最优, 而滴头 E4 表现出相反的规律, 这与图 2 反映的规律一致。

表 5 滴灌过程中滴头堵塞程度动态变化过程

Table 5 Dynamic change process of dripper clogging degree during drip irrigation

灌水次数	堵塞程度	滴头编号					
		E1	E2	E3	E4	E5	E6
4	$D_{ra}>75\%$	100	100	100	96.67	95.45	100
	$0<D_{ra}\leq 75\%$	0	0	0	3.33	4.55	0
	$D_{ra}=0$	0	0	0	0	0	0
8	$D_{ra}>75\%$	92.59	96.30	88.89	93.33	95.45	95.45
	$0<D_{ra}\leq 75\%$	7.41	3.70	0	0	0	4.55
	$D_{ra}=0$	0	0	11.11	6.67	4.45	0
12	$D_{ra}>75\%$	88.89	90.74	88.89	80	90.90	90.90
	$0<D_{ra}\leq 75\%$	5.56	9.26	0	0	4.55	4.55
	$D_{ra}=0$	5.55	0	11.11	20	4.55	4.55
16	$D_{ra}>75\%$	77.78	83.33	77.78	76.67	81.82	90.90
	$0<D_{ra}\leq 75\%$	5.56	9.26	11.11	3.33	9.09	4.55
	$D_{ra}=0$	16.66	7.41	11.11	20	9.09	4.55
20	$D_{ra}>75\%$	55.56	77.78	66.67	43.33	77.27	87.87
	$0<D_{ra}\leq 75\%$	22.22	11.11	11.11	23.33	13.64	7.58
	$D_{ra}=0$	22.22	11.11	22.22	33.34	9.09	4.55

2.5 滴头结构与堵塞参数的相关性分析

由表 6 可知,滴头平均相对流量与滴头流道长呈显著正相关($P<0.05$),表明本研究中滴头流道长是影响滴头堵塞的主要因素,且随着流道长度的增加,滴头发生堵塞所经历的灌水时间增加,而其他 4 个因素对滴头堵塞的影响不显著,即在本试验中滴头流量、齿间距、流道最小断面和进水栅格最小断面不是影响滴头堵塞的主要因素,但不能据此认为这些因素对滴头堵塞没有影响。

表 6 滴头堵塞参数与结构参数的显著性分析

Table 6 Significance analysis of dripper clogging parameters and structural parameters

滴头参数类别	平均相对流量	灌水均匀度	堵塞率
流道长	0.741*	0.728	-0.605
流量	0.353	-0.141	-0.452
齿间距	0.553	0.453	-0.432
流道最小断面	0.157	0.164	-0.013
进水栅格最小断面	-0.454	-0.548	0.411

3 讨论

前人研究发现,滴头类型和结构是影响其水力性能和抗堵塞性能的关键因素^[15-17],这与本研究结论一致。滴头水力性能研究结果表明,E1 滴头的流量系数最小,其流量波动较小,而 E4 表现出相反的规律。这主要是由于 E1 滴头流道断面尺寸相对较大,流道长度较短,水流在流动过程中受流道壁面的影响较小,而 E4 滴头流道长度较长且流道方向曲折多变,水流在流动过程中受流道壁面及补偿结构的影响较大^[18]。因此,E1 滴头流量波动较小,E4 滴头流量波动较大,这与郑国玉等^[19]研究结果一致。此外,本研究还发现,6 种滴头中 E6 滴头的流态系数最大,滴头出流量偏差较大,滴头出流均匀性较差。这主要是由于 E6 滴头存在进水口凸台结构,易造成进水口处水流方向发生骤变,加速了水流与毛管壁面和凸台壁面的碰撞,增大了滴头进水口处水流的紊动,改变了水流的流速和流态。因此,具有凸台结构的 E6 滴头表现出较低的出流均匀性。滴头抗堵塞性能研究结果表明,滴头类型和进水口结构对滴头堵塞具有极显著影响,其中片式滴头中 E2 滴头的抗堵塞性能最优,E1 滴头最差,圆柱式滴头中 E6 滴头的抗堵塞性能最优,E4 滴头最差。这主要是因为片式滴头中 E2 滴头的进水口栅格尺寸较大,灌水过程中泥沙颗粒在进水口处附着的机率较小,滴头发生堵塞风险较低。而片式滴头 E1 的额定流量较小、流道长度较长,流道内较低流速不易将附着于流道迎水面的泥沙冲出^[20],滴头堵塞风险较大。圆柱式滴头中 E4 滴头为补偿式滴头,而其在 0.1 MPa 压力条件下迷宫流道内较大流速的水流易造成

弹性体变形量增大、过流断面面积减小,从而导致附着于齿间、弹性片表面的泥沙不易被水流带走^[21],滴头堵塞加剧,抗堵塞性能降低。而圆柱式滴头 E6 抗堵塞性能最优主要是由于其存在的凸台结构有效减缓了泥沙颗粒在滴头入口处的沉积,减小了滴头流量下降速率,增大了滴头灌水均匀性,提升了滴头有效灌水次数^[22]。整个灌水过程中,具有凸台结构的 E6 滴头保持着较优的抗堵塞性,且与无凸台结构滴头中抗堵塞性能最优的 E5 滴头相比,相对流量提升了 14.81%,滴头堵塞率降低了 46.63%。由此可知,滴头进水口凸台结构可显著提升滴头的抗堵塞性能。滴头抗堵塞影响因素分析结果表明,滴头流道长度是影响滴头堵塞的主要因素,且滴头的抗堵塞性随着流道长度的增长而增强,这与温圣林等^[13]的研究结论存在较大差异。这主要是滴头类型和试验水质不同引起的。后者选择了相同进水口结构(无凸台)的 7 种迷宫流道滴头进行了高含沙水(3 g/L)条件下的堵塞研究,而本研究则选用了不同进水口结构(有凸台、无凸台)的 6 种迷宫流道滴头进行了低含沙水(1 g/L)条件下的堵塞研究。当水质不同时,同类型滴头表现出的堵塞规律及影响滴头堵塞的主要因素也不尽相同^[23-24],因此不同类型滴头抗堵塞性能的差异性还与灌溉水质密切相关。综合上述分析结果,建议黄河水滴灌时选择大流量且具有凸台结构的非补偿内镶圆柱式滴头进行灌溉,以提升滴灌系统的灌溉质量。

4 结论

1) 滴头类型和滴头结构是影响滴头水力性能的重要因素。E1~E6 滴头中 E1 滴头的流量系数最小,其滴头流量波动较小;E6 滴头流态指数最大,其滴头出流均匀性较差。

2) 滴头类型和进水口结构对滴头堵塞具有显著影响,其中无凸台结构的补偿圆柱式滴头 E4 流量下降速率最快,滴头堵塞最严重,有凸台结构的非补偿圆柱式滴头 E6 流量下降速率最慢,滴头堵塞最轻。

3) 滴头进水口凸台结构有效减缓了滴头流量下降速率,降低了滴头堵塞率,提升了滴头抗堵塞性能。与无凸台结构滴头中抗堵塞性最优的 E5 滴头相比,有凸台结构的 E6 滴头相对流量提升了 14.81%,滴头堵塞率降低了 46.63%。

参考文献:

- [1] 王新端,白丹,宋立勋,等.不同结构滴灌双向流道灌水器抗堵塞性能对比试验[J].农业工程学报,2018,34(14):78-85.
WANG Xinduan, BAI Dan, SONG Lixun, et al. Contrast experiment on anti-clogging performance of bidirectional flow channel emitters with

- different structures in drip irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(14): 78-85.
- [2] 喻黎明, 余兴娇, 李娜, 等. 不同冲洗措施下迷宫流道灌水器泥沙运行分布机理研究[J]. 农业机械学报, 2021, 52(7): 304-312.
- YU Liming, YU Xingjiao, LI Na, et al. Sediment distribution mechanism of labyrinth-channel emitters under different flushing measures[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(7): 304-312.
- [3] 刘燕芳, 李丹, 吴普特, 等. 不同类型灌水器在硬水滴灌条件下的堵塞特征[J]. 农业工程学报, 2018, 34(3): 96-102.
- LIU Yanfang, LI Dan, WU Pute, et al. Clogging characteristic of different emitters in drip irrigation with hard water[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(3): 96-102.
- [4] 谢巧丽, 牛文全, 李连忠. 进水口结构对迷宫流道滴头性能影响的模拟研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(1): 206-212.
- XIE Qiaoli, NIU Wenquan, LI Lianzhong. Influence of inlets on performance of labyrinth channels emitter[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2015, 43(1): 206-212.
- [5] 郭庆, 张二信, 杨建飞. 加气对不同流道结构滴头堵塞的影响[J]. 节水灌溉, 2021(11): 55-60.
- GUO Qing, ZHANG Erxin, YANG Jianfei. The influence of air filling on the clogging of dripper with different flow channel structure[J]. Water Saving Irrigation, 2021(11): 55-60.
- [6] LI Na, KANG Yaohu, LI Xiaobin, et al. Lateral flushing with fresh water reduced emitter clogging in drip irrigation with treated effluent[J]. Irrigation Science, 2019, 37(5): 627-635.
- [7] HAN Siqi, LI Yunkai, XU Feipeng, et al. Effect of lateral flushing on emitter clogging under drip irrigation with yellow river water and a suitable method[J]. Irrigation and Drainage, 2018, 67(2): 199-209.
- [8] 喻黎明, 余兴娇, 郭欢欢, 等. 动态水压对迷宫流道滴头抗堵塞性能影响与机理分析[J]. 农业机械学报, 2022, 53(5): 342-349.
- YU Liming, YU Xingjiao, GUO Huanhuan, et al. Mechanism and anti-clogging of labyrinth-channel emitters under fluctuated water pressure[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(5): 342-349.
- [9] LI Qiang, SONG Peng, ZHOU Bo, et al. Mechanism of intermittent fluctuated water pressure on emitter clogging substances formation in drip irrigation system utilizing high sediment water[J]. Agricultural Water Management, 2019, 215: 16-24.
- [10] 侯鹏, 肖洋, 吴乃阳, 等. 黄河水滴灌系统灌水器结构-泥沙淤积-堵塞行为的相关关系研究[J]. 水利学报, 2020, 51(11): 1 372-1 382.
- HOU Peng, XIAO Yang, WU Naiyang, et al. Cascade relationship between the emitter structure-sedimentation-clogging behavior in drip irrigation systems with yellow river water[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2020, 51(11): 1 372-1 382.
- [11] 牛文全, 张二信, 吕畅, 等. 不同加气和粒径条件下浑水滴灌滴头堵塞特性研究[J]. 农业机械学报, 2021, 52(11): 144-152, 169.
- NIU Wenquan, ZHANG Erxin, LYU Chang, et al. Clogging characteristics of muddy drip irrigation dripper under different aeration and particle size conditions[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(11): 144-152, 169.
- [12] 农业灌溉设备滴头和滴灌管技术规范 and 试验方法. GB/T17187—2009[S]. Technical specifications and test methods for drippers and drip irrigation pipes of agricultural irrigation equipment. GB/T17187—2009[S].
- [13] 温圣林, 牛文全, 邬梦龙, 等. 浑水滴灌过程中不同类型滴头堵塞的动态变化特征[J]. 农业机械学报, 2020, 51(3): 287-294.
- WEN Shenglin, NIU Wenquan, WU Menglong, et al. Dynamic characteristics of different emitters clogging in drip irrigation with muddy water[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(3): 287-294.
- [14] 牛文全, 赵雪, 王照熙, 等. 含沙水磁化处理减缓滴头堵塞机理研究[J]. 农业机械学报, 2022, 53(3): 346-356.
- NIU Wenquan, ZHAO Xue, WANG Zhaoxi, et al. Mechanism of magnetization treatment of sandy water to relieve clogging of dripper[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(3): 346-356.
- [15] 徐路全, 李援农, 房云杰, 等. 组合滴灌管抗堵塞性能研究[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(1): 77-82, 89.
- XU Luquan, LI Yuanlong, FANG Yunjie, et al. Experimental study on the feasibility of combined drip irrigation pipes to ameliorate emitter blocking[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(1): 77-82, 89.
- [16] 王建东, 龚时宏, 李光永, 等. 低压下流道结构参数对锯齿型滴头水力性能影响的试验研究[J]. 水利学报, 2014, 45(1): 72-78.
- WANG Jiandong, GONG Shihong, LI Guangyong, et al. The influence of geometrical parameters of dental flow passage of labyrinth emitter on the hydraulic performance under low working pressure[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014, 45(1): 72-78.
- [17] 翟英剑, 吴文勇, 王振华, 等. 基于 Ansys Fluent 的压力对灌水器流道单元水力特性及抗堵塞性能探究[J]. 节水灌溉, 2022(5): 47-53, 59.
- ZHAI Yingjian, WU Wenyong, WANG Zhenhua, et al. Analysis of the effect of pressure on hydraulic and anti-clogging performance of the flow channel unit of the irrigator based on ansys fluent software[J]. Water Saving Irrigation, 2022(5): 47-53, 59.
- [18] 王建东, 李光永, 邱象玉, 等. 流道结构形式对滴头水力性能影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(S1): 100-103.
- WANG Jiandong, LI Guangyong, QIU Xiangyu, et al. Effects of flow passage forms on hydraulic performance of emitters[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(S1): 100-103.
- [19] 郑国玉, 马军勇, 何帅, 等. 低压对不同滴头水力技术指标的影响[J]. 节水灌溉, 2021(8): 74-77.
- ZHENG Guoyu, MA Junyong, HE Shuai, et al. The effect of low pressure on the hydraulic technical performance of different emitters[J]. Water Saving Irrigation, 2021(8): 74-77.
- [20] 喻黎明, 徐霞, 杨启良, 等. 滴灌灌水器迷宫流道结构对泥沙运动的影响[J]. 农业机械学报, 2017, 48(2): 255-261.
- YU Liming, XU Xia, YANG Qiliang, et al. Influence of geometrical parameters of labyrinth passage of drip irrigation emitter on sand movement[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(2): 255-261.
- [21] 杨小坤, 牛文全, 张亮. 一体化压力补偿式热塑性弹性材质滴头设计与试验[J]. 农业工程学报, 2019, 35(21): 60-68.
- YANG Xiaokun, NIU Wenquan, ZHANG Liang. Design and experiment of integrated pressure-compensating emitter made of thermoplastic elastomer[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(21): 60-68.
- [22] 张文倩, 牛文全, 李学凯, 等. 减缓滴头堵塞风险的毛管首次冲洗时间及周期的确定[J]. 农业工程学报, 2019, 35(7): 70-77.
- ZHANG Wenqian, NIU Wenquan, LI Xuekai, et al. Determination of first lateral flushing time and period to mitigate risk of emitter clogging in drip irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(7): 70-77.
- [23] ZHOU Bo, LI Yunkai, SONG Peng, et al. Anti-clogging evaluation for drip irrigation emitters using reclaimed water[J]. Irrigation Science, 2017, 35(3): 181-192.
- [24] LI Jiusheng, CHEN Lei, LI Yanfeng. Comparison of clogging in drip emitters during application of sewage effluent and groundwater[J]. Transactions of the ASABE, 2009, 52(4): 1 203-1 211.

Clogging of Different Emitters in Using Yellow River Water for Dripping Irrigation

GUO Qing¹, LI Tiantian², YANG Jianfei³

(1. Yangling Vocational and Technical College, Yangling 712100, China;

2. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

3. Agriculture and Rural Affairs Bureau of Zhouzhi County, Xi'an 710400, China)

Abstract: 【Objective】 Yellow River is muddy and dripping irrigation using it could clog the emitters. The purpose of this paper is to study experimentally how a change in interior structure of the emitter could alleviate the clogging.

【Method】 We investigated six labyrinth channel emitters with different inlet structures and types in the experiment; water flow and occurrence of clogging in each of them were compared and analyzed. 【Result】 Emitter type and its interior structure have a significant impact on emitter clogging ($P < 0.05$). Among the six emitters we studied (E1~E6), the compensated cylindrical emitter (E4) without the interior] boss structure has the fastest flow decline rate and the most serious clogging, while the non-compensated cylindrical emitter (E6) with an interior boss structure has the slowest flow decline rate and least clogging. The interior boss structure can effectively slow down deposition of sediment particles at the inlet of the channel, reducing flow decline rate and clogging as a result. Compared with E5 emitter that has the best anti-clogging for those without the interior boss structure, the flow in E6 emitter with the interior boss structure is increased by 14.81%, and the clogging rate is reduced by 46.63%. 【Conclusion】 The non-compensated cylindrical emitter with an intake interior boss structure is most effective for reducing emitter clogging in drip irrigation using Yellow River water.

Key words: yellow river water; drip irrigation; plugging; inlet structure

责任编辑: 韩 洋

(上接第 51 页)

The Effect of Different Factors on Clogging of inlay Patch Drip Irrigation Belt

TAO Hongfei^{1,2}, TAO Juanqin^{1,2}, ZHOU Liang³, LI Qiao^{1,2},

Mahemujiang AHMATI^{1,2}, JIANG Youwei^{1,2}, YANG Wenxin^{1,2}, WEI Jianqun^{1,2}

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Urumqi 830052, China;

2. Xinjiang Key Laboratory of Water Conservancy Engineering Safety and Water Disaster Prevention, Urumqi 830052, China;

3. Construction Xinjiang Construction Engineering, Chengdu 610000, China)

Abstract: 【Objective】 Emitter clogging is a common issue in drip irrigation. This paper studies the effects of laying slope, sediment content and operating pressure on irrigation uniformity and flow drop of the inlaid patch drip irrigation in attempts to reduce clogging of the drip irrigation belt. 【Method】 The experiment was design using a uniform orthogonal test plan with three factors and three levels: laying slope (-1, 0, 1%), sediment content (1, 2, 3 g/L) and operating pressure (40, 70, 100 kPa). The experiment was conducted in a laboratory using 30 m drip irrigation belts. 【Result】 The factors that influence irrigation uniformity are ranked in the order of sediment content > laying slope > operating pressure. The factors that impact flow drop are ranked in the order of sand content > operating pressure > laying slope. Regression models for estimating irrigation uniformity and flow drop using the sediment content and operating pressure were accurate, with its standardized root mean square errors being 2.98% and 2.42%. 【Conclusion】 Sediment content is an important factor affecting the clogging of the inlaid patch drip irrigation belt. The models we presented to link sediment content, laying slope and operating pressure to irrigation uniformity and flow rate drop were accurate and can be used for design.

Key words: inlaid patch drip irrigation tape; irrigation uniformity; flow rate drop; prediction model

责任编辑: 赵宇龙