

Comparative Study on Salt Blockage Between Embedded Cylindrical Drip Irrigation Pipes and Infiltration Irrigation Pipes under Summer Well Irrigation Conditions

Haiwen Zhang Ji Feng Fengwei Li Zeqing Li Haofei Jiang Ruiyan Zhou

Beijing Agricultural Vocational College, Beijing, 102442, China

Abstract

This study uses well water as the irrigation source, focusing on embedded cylindrical drip irrigation pipes and subsurface drip irrigation pipes as research subjects. With water salinity serving as the clogging factor, it investigates the flow variation processes of the two types of emitters under summer irrigation conditions and analyzes the clogging mechanisms of the emitters. Research shows that both types of irrigators experience a decrease in flow rate and even blockage under conventional 120 mesh mesh filtration, with a greater decrease in flow rate in the infiltration pipe than in the embedded cylindrical drip pipe; The blockage mechanism includes both salt precipitation gradually narrowing the flow channel and sudden narrowing of the flow channel due to the detachment of scale; The water quality testing results and analysis of the composition of clogging substances show that the clogging of the sprinkler is mainly chemical clogging, with CaCO_3 and MgCO_3 as the main components.

Keywords

clogging; drip irrigation; infiltration irrigation

夏季井灌条件下内镶圆柱式滴灌管与渗灌管盐分堵塞对比研究

张海文 冯吉 李凤伟 李泽卿 江浩菲 周睿妍

北京农业职业学院, 中国·北京 102442

摘要

本文将井水作为灌溉水源,以内镶圆柱式滴灌管和渗灌管为研究对象,水中盐分作为堵塞因子,研究两种灌水器在夏季灌溉条件下的流量变化过程,分析灌水器堵塞机理。研究显示:两种灌水器在常规120目网式过滤情况下,流量均发生下降,甚至堵塞,渗灌管流量下降程度大于内镶圆柱式滴灌管;堵塞机理既有盐分沉淀逐渐束窄流道,也有垢质脱落进入流道发生突然性束窄;水质检测结果和堵塞物质成分分析显示,灌水器堵塞以化学堵塞为主,主要成分为 CaCO_3 和 MgCO_3 。

关键词

堵塞;滴灌;渗灌

1 引言

与河流、湖泊、泉水等水源相比,井水具有水量稳定,受季节影响较小等优点,是华北地区发展微灌技术的主要水

【基金项目】北京农业职业学院科技创新项目“雨水收集微灌技术在日光温室中的应用研究”(项目编号:XY-YF-25-04);北京农业职业学院2025年度校级科研创新团队项目“北京市郊区地下水滴灌系统灌水器堵塞控制技术研究”(项目编号:XY-TD-25-04)。

【作者简介】张海文(1976—),男,中国山西孝义人,硕士,副教授,从事高效节水灌溉技术研究。

源。水源过滤是保障微灌系统正常运行的关键环节,常用的过滤装置有砂石过滤器、离心式过滤器、叠片式过滤器、筛网式过滤器以及其不同组合。但是现在一些研究及工程应用显示,以井水为水源的微灌工程,尤其是硬度较高的井水,在过滤装置有效运行、灌溉系统正常操作的情况下,仍然会发生灌水器的堵塞现象,降低灌溉均匀度,影响灌溉系统的正常运行。

本文选择了内镶圆柱式滴灌管和渗灌管2种灌水器,1种较高盐分浓度的深井水源,研究在夏季条件下2种灌水器的流量、灌水均匀度和灌水器堵塞的变化过程和规律,分析灌水器的堵塞机理。本文的研究成果可以为北方地区相似水质的微灌工程提供一定的参考依据。

2 试验材料与方法

2.1 试验布置

本试验在北京农业职业学院水利与土木工程学院综合节水基地室内进行,灌溉水源采用北京农业职业学院种植基地内的深井水。

试验采用2种灌水器,分别是内镶圆柱式滴灌管和渗灌管。灌水器参数见表1所示。

表1 试验用灌水器的水力参数

灌水器类型	直径	材质	灌水器流量	流量偏差系数	流态指数
内镶圆柱式滴管	16mm	聚乙烯	1.835 L·h ⁻¹	6.09%	0.60
渗灌管	16mm	高分子半透膜	1.923 L(hm) ⁻¹	—	—

备注:表中所示灌水器流量为试验前新灌水器在工作压力0.1MPa时实测的流量,流量偏差系数根据实际测量数据计算,流态指数为厂家提供。

根据灌水器(2种)和水源类型(1种),共设置2个处理,共计4条(每个处理2条)毛管,每条毛管长度1.8m。每条内镶圆柱式滴灌管取5个滴头,渗灌管为满壁渗流,采用套接软带方法收集水流,将每条渗灌管的软带分为3个区段,每区出水点取1个,共3个出水点。毛管布置在2m长×1m宽×1.5m高的不锈钢支架上。不锈钢支架分为两层,上层布置不锈钢集水槽(尺寸为2m×1m×0.2m)用来收集灌水器滴下的水流,进行循环使用。下层布置不锈钢水箱和变频控制柜,不锈钢水箱尺寸为1m×0.9m×0.6m,水箱内布置不锈钢潜水泵(额定流量1m³/h,扬程为25m)。水泵通过塑料管路与各毛管连接,水泵电缆与变频控制柜连接,毛管入口处设置阀门进行启闭,与毛管连接的支管上安装有远传数显式压力表(最小分辨率0.001kgf/cm²)。在系统最高处设置进排气阀。试验装置布置如图1所示。

试验中采用了120目不锈钢网式过滤器,设置于水泵出水口处的主管上,对进入管路中的杂质进行过滤,过滤器的过滤面积为150cm²。平均每5天清洗滤网1次,确保过滤器处于最佳过滤状态。用远传数显压力表监测毛管工作压力。系统运行时,毛管进口处的压力控制在0.1MPa。试验开始前,通过变频控制柜调节将毛管进口处的压力控制在0.1MPa,测量2种灌水器的流量,试验于6-10月开展,历时4个月结束。试验期间,系统平均每隔5-6d开启一次,

每次平均工作45min。

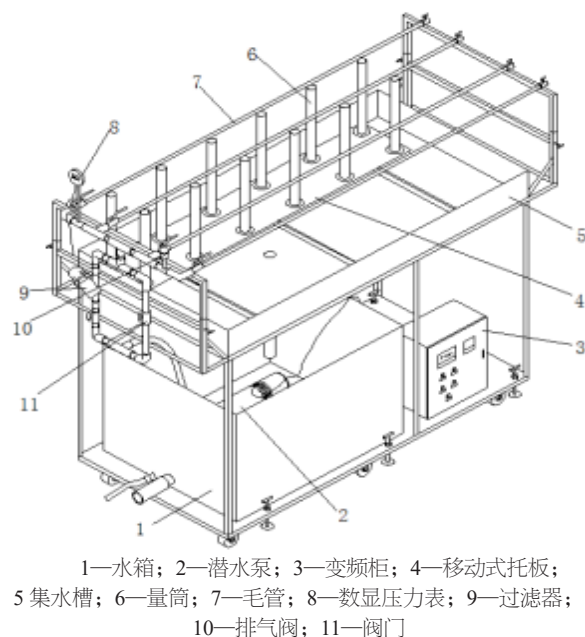


图1 试验装置布置示意图

2.2 测试内容与方法

1) 灌水器流量测量:灌水器流量平均每5-6d测量一次,利用布置在每个灌水器下面的量筒(最大容积为2L)进行水量测量,流量测量时毛管进口处的工作压力控制在0.1MPa,系统运行45min后,通过移动式托板的位置变动,使量筒同时撤离灌水器下方,读取量筒数值,该数值与运行时间的比值即为灌水器流量。

2) 温度测量:水温计用来测量来自井水的水源水温。玻璃温度计显示室内温度。

3) 水质检测:主要针对灌溉水的PH值、铁离子、总悬浮物(TSS)、电导率(EC)、Ca²⁺、Mg²⁺、HCO₃⁻¹及细菌总数等指标进行测定,其中PH值用PH计测定,铁离子浓度用EDTA络合滴定法测定,TSS用滤膜法测定,电导率用电导率仪测定,Ca²⁺、Mg²⁺和HCO₃⁻¹浓度用离子色谱法测定,细菌总数测定方法采用多管发酵法。水质样品为北京农业职业学院种植基地内的深井水,检测数据由北京华科普研分析检测中心提供,水质检测结果如表2。

3) 堵塞物质分析:试验结束后解剖灌水器,观察灌水器流道的堵塞特征,收集灌水器内部的堵塞物质在实验室进行成分分析。

表2 试验用灌溉水水质

水源	时间	PH值	电导率 (us/cm)	悬浮物 (mg/L)	HCO ₃ ⁻¹ (mmol/l)	铜 (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	铁 (mg/L)	菌落总数 (CFU/ml)
井水	1/4节点处	6.91	1.53×10 ⁻³	<4	9.18	0.015	158	83	<0.001	未检出

2.3 灌溉均匀度

灌溉均匀度采用克里斯琴森 (Christiansen Uniformity) 均匀系数 CU 表示, 计算公式为

$$C_u = 1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{\bar{q}} \quad (1)$$

式中: \bar{q} ——同一试验处理下的灌水器平均流量, L/h; q_i ——第 i 个灌水器流量, L/h; n ——同一试验处理条件下灌水器的数量。每次灌水器流量测量完成后计算灌水均匀度。

为了减少试验滴头的制造偏差对灌溉均匀系数数值的影响, 拟用灌溉均匀度变化百分数来表达灌溉均匀度的变化规律, 即以第一次灌溉试验时的灌溉均匀系数为基数, 将每次灌溉均匀系数的变化量与其比值作为研究对象进行分析。

3 结果与分析

3.1 深井水灌溉对灌水器流量的影响

经测量, 来自水井的水源温度基本稳定在 14.5-16℃。实验室内温度变幅较大, 白天温度约 24-34℃, 夜间温度约 15-22℃。图 2 描述了内镶圆柱式滴灌管和渗灌管的流量的变化过程。从图中可以看出灌水器流量受灌水器类型、灌水时间的影响。内镶圆柱式滴头的流量在试验期间内变化小, 而渗灌管的流量变化大。在试验结束时, 渗灌管的平均流量降低了 62.4%, 内镶圆柱式降低了 3.9%。

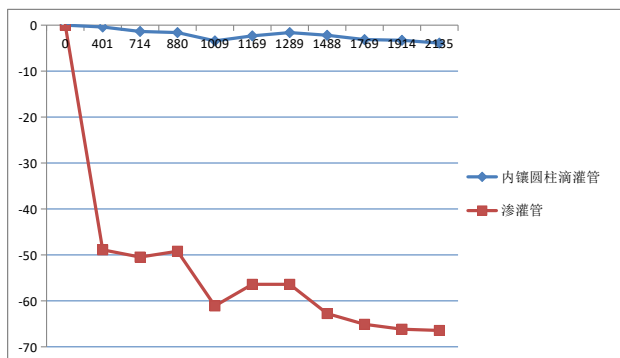


图 2 试验期间不同灌水器平均流量变化过程

图 3 描述了堵塞最严重灌水器的流量变化过程。内镶圆柱式滴灌管堵塞最严重位置是毛管最末端滴头。在试验结束时, 滴头流量降低了 15.8%。渗灌管堵塞最严重位置是位于远端的试验区段, 其流量降低了 69.5%。

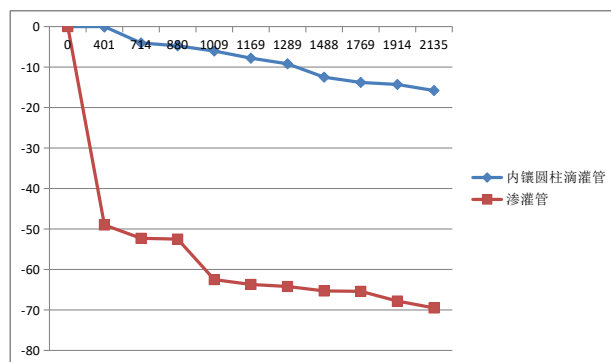


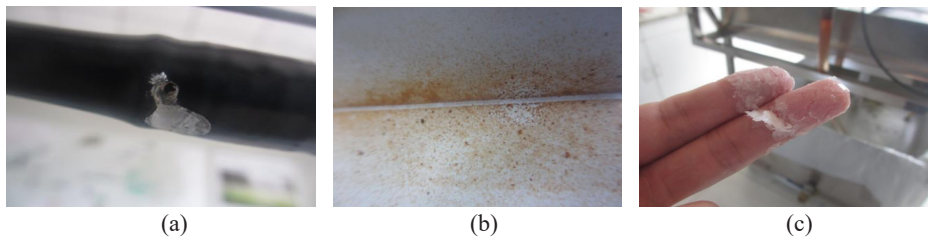
图 3 试验期间堵塞最严重滴头的流量变化过程

3.2 灌水器堵塞原因分析

根据试验观察, 内镶圆柱式滴管和渗灌管在试验期间均发生了不同程度的堵塞, 内镶圆柱式滴管堵塞最严重位置均位于毛管最末端滴头, 由于管道中沉积物脱落以及穿过过滤网的杂质在水流带动下推移至末端滴头附近, 逐渐累积, 引起滴头的堵塞, 沉积物质见图 4。试验显示毛管末端附近滴头发生堵塞是大概率事件, 这与 Ravina 等的研究结果一致。根据试验观察及分析, 环境温度与水源温度的较大差异应是发生盐分堵塞的根本原因, 水温低时, 盐分溶解度高, 水温高时, 盐分溶解度低。水流在管网中流动后管道内的水温会受外界温度影响而升高, 盐分溶解度会降低, 但水流速度较快, 温度升高有限, 此因素不是主要因素。两次灌溉之间时段的盐分析出应是主要因素, 由于是间歇性灌溉, 灌溉后在下次灌溉前的时段, 管内尤其是毛管内留存的水分在温度升高至外界温度后会析出盐分水垢, 水垢会附着在管内壁或灌水器流道内, 水垢束窄流道的同时, 还会在紊动情况下发生部分脱落产生堵塞。

灌水器内部的堵塞物质分析显示, 其成分主要为 $CaCO_3$ 和 $MgCO_3$, 说明化学堵塞是造成滴头堵塞的主要原因。水质分析可知, Ca^{2+} 浓度为 155mg/l, Mg^{2+} 浓度为 82.9mg/l, 这与显示分析相符。

灌水器流道内部沉淀物的分布显示, 内镶圆柱式主要位于进口处和出口处。仵峰等的研究指出, 滴头的堵塞主要发生在出口处和进口处, 滴头出口处一般流道尺寸较大, 水流速度较低, 对杂物的冲刷能力下降, 容易造成沉淀物堆积, 引起堵塞, 这与本研究相符。渗灌管内的附着物呈面状分散分布, 多附着于内壁, 以渗灌管剖面圆周来看, 其圆周下半部分沉淀物较多, 这是由于灌溉结束后, 残留在管内的水在外界条件变化情况下引起溶解度下降, 使得水中盐分析出, 在重力作用下下降发生沉淀, 累积并附着于管道内壁。



(a) 内镶圆柱滴头孔口附近沉积物 (b) 渗灌管内壁沉淀附着物 (c) 蓄水池水面泛起的析出物

图 4 沉积物质

4 结语

本试验研究了内镶圆柱式滴管和渗灌管 2 种灌水器在夏季井水灌溉条件下流量变化过程。试验结果显示, 2 种灌水器在 120 目网式过滤器进行物理过滤情况下, 随着灌溉时间的增加, 灌水器出现流量下降, 发生堵塞, 渗灌管流量下降程度大于内镶圆柱式。堵塞机理既有盐分沉淀逐渐束窄流道, 也有垢质脱落进入流道发生突然性束窄。水质检测结果显示, 灌水器堵塞物质成分分析显示, 灌水器堵塞以化学堵塞为主, 主要成分为 CaCO_3 和 MgCO_3 。

参考文献

- [1] 仵峰, 范永申, 李辉等. 地下滴灌灌水器堵塞研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 80-83.
- [2] 王荣莲, 龚时宏, 李光永, 等. 地下滴灌防根系入侵的方法和措施[J]. 节水灌溉, 2005, (2): 5-7.
- [3] Capra A, Scicolone B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation[J]. *Agricultural Water Management*, 2004, 68: 135-149.
- [4] 姚振宪, 何松林. 滴灌设备与滴灌系统规划设计[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 69-74.
- [5] Ravina I, Paz E, Sofer Z, et al. Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent[J]. *Agriculture water Management*, 1997, 33: 127-137.
- [6] 刘海军, 黄冠华, 王鹏超, 等. 再生水滴灌对滴头堵塞的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 15-20.