

# 回流滴灌系统泥沙输移及抗堵塞性能研究

路泽星<sup>1</sup>, 卢金锁<sup>1,2</sup>, 于 健<sup>3</sup>, 史吉刚<sup>3</sup>

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055;

2. 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710055;

3. 内蒙古自治区水利科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

**摘要:** 为探究在传统支状滴灌系统末端设置回流管后滴灌系统毛管主流流速增加后回流滴灌系统的输沙排沙潜力及其抗堵塞性能, 通过周期滴灌实验分析回流滴灌系统的灌水均匀系数以及滴头堵塞情况, 并对毛管内沉积泥沙分布特点和系统各部分输沙排沙所占比重进行分析。实验结果表明: 0.035 m·s<sup>-1</sup> 回流、0.05 m·s<sup>-1</sup> 回流滴灌系统的灌水均匀系数、滴头堵塞数量均明显优于支状滴灌系统。回流流速为 0.05、0.035、0.015 m·s<sup>-1</sup> 三种回流系统中毛管沉泥量依次增加, 但均低于支状滴灌系统的毛管泥沙沉积数量, 同时四种回流滴灌系统均表现为沿水流方向毛管内沉泥量逐渐增加。支状滴灌系统、0.015 m·s<sup>-1</sup> 回流、0.035 m·s<sup>-1</sup> 回流、0.05 m·s<sup>-1</sup> 回流系统回流排沙量分别为 0、1.59、4.30、7.52 kg, 表明回流管具有良好的输沙排沙能力。

**关键词:** 泥沙输移; 滴头堵塞; 回流管; 回流流速; 灌水周期

中图分类号: S275.6 文献标志码: A

## Sediment transport and anti-clogging properties of irrigation system with return pipe

LU Ze-xing<sup>1</sup>, LU Jin-suo<sup>1,2</sup>, YU Jian<sup>3</sup>, SHI Ji-gang<sup>3</sup>

(1. College of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, Shaanxi 710055, China;

2. Key Laboratory of Northwest Water Resource and Environment Ecology, Ministry of Education, Xi'an, Shaanxi 710055, China;

3. Inner Mongolia Autonomous Institute of Water Resources Research, Hohhot, Inner Mongolia 010020, China)

**Abstract:** In order to explore the transport potentials of sediment and anti-clogging properties in a new-type drip irrigation system, which was altered from traditional irrigation system by adding a return flow pipe, a periodic intermittent drip irrigation experiment was carried out using muddy water to investigate the properties of anti-clogging and uniform coefficient, and to analyze the distribution of sediment in lateral pipes and the sediment discharge in different parts of the drip irrigation system. The results showed that, when the return flow rate was 0.035 m·s<sup>-1</sup> and 0.050 m·s<sup>-1</sup>, the uniform coefficient and the amount of clogged emitter in the new-type drip irrigation system were better than those in the branch drip irrigation system. The sediment quantity deposited in lateral pipes with return flow rate of 0.050 m·s<sup>-1</sup>, 0.035 m·s<sup>-1</sup> and 0.015 m·s<sup>-1</sup> in the drip irrigation system increased in turn but was wholly lower than that in the branch drip irrigation system. The sediment quantity deposited in lateral pipes in all the 4 kinds of irrigation system increased gradually along with the flow direction. The total amount of sediment discharged from the branch drip irrigation system, 0.015 m·s<sup>-1</sup> return flow system, 0.035 m·s<sup>-1</sup> return flow system and 0.050 m·s<sup>-1</sup> return flow system was 0, 1.59, 4.30 kg and 7.52 kg, respectively, showing the good capacity of transporting and flushing sediment in the new-type drip irrigation system with return flow pipe.

**Keywords:** sand transport; emitter clogging; return flow pipe; return flow rate; irrigation period

滴灌是一种新型灌溉方式, 具有节水、高效等诸多优点, 适合在干旱缺水地区推广。但由于滴灌系

统对水质要求较高<sup>[1]</sup>, 而在我国西北内陆黄河灌区黄河水含沙量普遍较高, 处理达到滴灌水质标准成

收稿日期: 2015-12-15

基金项目: 内蒙古自治区重大水利科技专项(2014-117)

作者简介: 路泽星(1990—), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 主要研究方向为水处理技术及系统优化。E-mail: luzexing512@126.com

通信作者: 卢金锁(1977—), 男, 甘肃白银人, 教授, 博士, 主要从事水处理技术及系统优化。E-mail: lujinsuo@163.com。

本较高,否则极易造成滴头堵塞,从而严重制约滴灌系统的大面积推广<sup>[2-3]</sup>。

针对黄河水泥沙量大和处理成本较高的问题,有学者研究采用水力旋流器、沉淀池和过滤器等方法对黄河水进行处理<sup>[4-5]</sup>;还有研究人员通过对滴头水道水力特性的 CFD 模拟和实验研究,探究滴头内部的水沙运动特性,并据此对滴头水道结构进行优化,提高了滴头的输沙抗堵塞性能<sup>[6-11]</sup>;还有学者提出在系统运行时通过水力冲洗对滴灌系统进行清洗排沙,从而降低滴灌系统堵塞的几率和对水质处理的要求<sup>[12-14]</sup>。

目前,研究人员主要从水质净化、滴头水道结构优化、滴灌运行方式等三个方面为切入点研究使用黄河水作为水源的滴灌系统的堵塞问题。但是很少有研究人员对滴灌毛管的输沙排沙能力进行研究,并且针对国内滴灌带“一年一换”有别于国外滴灌毛管3至5年的使用周期的特点,现有的水质净化方法的效费比较低,因此有必要针对滴灌毛管内的泥沙输移规律进行研究。

基于前述对支状滴灌系统研究存在的问题,作者提出在支状滴灌系统末端设置回流管形成回流滴灌系统,从而探究回流滴灌系统的抗堵塞特性和泥沙颗粒输移特性。在前述研究中作者已通过 CFD 模拟和实验室小试实验验证了回流滴灌系统具有优于支状滴灌系统的抗堵塞性能和输沙排沙性能,但考虑到在大田滴灌过程中回流滴灌系统可能带来的成本增加和系统实际的输沙性能与实验室小试实验存在差异,因此本文通过中试滴灌实验探究大尺度回流滴灌系统在布水均匀性、抗堵塞、输沙排沙性能方面的应用潜能。

## 1 材料及方法

### 1.1 实验材料与装置

本实验在内蒙古自治区巴彦淖尔市临河区实验基地进行,实验装置由首端储水池、浮动式筛网过滤器、变频调速泵和滴灌测试平台组成。实验基地毗邻黄河总干渠,总干渠黄河水经潜水泵抽吸进入测试系统首端 3 m × 3 m × 3.5 m 的储水池,储水池中的原水通过首端 300 目浮动式筛网过滤器过滤后经变频泵加压后输送至滴灌测试平台。

滴灌实验采用额定流量为 1.6 L · h<sup>-1</sup> 的内镶贴片式滴灌带,滴灌带直径为 16 mm,滴头水道宽度为 0.75 mm,水道深度 0.75 mm,齿间距为 1.74 mm,齿高度为 1.0 mm,水道长度为 29.4 mm。实验原水经

首端筛网式过滤器处理后含沙量约为 1.5 kg · m<sup>-3</sup>,经 LS230 激光粒度分析仪测试原水水样颗粒粒径的分布如下:0 < d < 10 μm 占 57.04%,10 μm ≤ d < 30 μm 占 32.11%,30 μm ≤ d < 50 μm 占 10.83%,中位值粒径为 9.86 μm,平均粒径为 8.52 μm。本实验中回流滴灌系统是在传统支状滴灌系统末端设置汇水回流管,并在滴灌毛管末端设置阀门调节滴灌毛管末端不同的回流流速。实验中共设置 0.015、0.035、0.05 m · s<sup>-1</sup> 三种回流滴灌系统以及支状滴灌系统共四种滴灌系统。每种滴灌系统各设置三根滴灌带作为重复,每根滴灌带长度为 50 m,实验装置如图 1 所示。

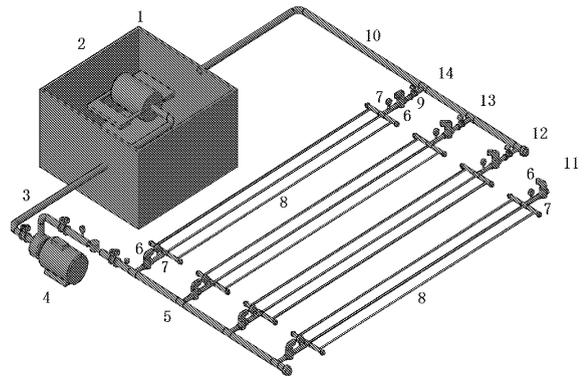


图1 中试实验装置系统图

Fig.1 Experimental layout of medium drip irrigation system

1. 储水池 Storage tank; 2. 浮动式筛网过滤器 Floating mesh filter; 3. 吸水管 Inlet pipe; 4. 水泵 Pump; 5. 输水干管 Trunk pipe; 6. 阀门 Valve; 7. 压力表 Pressure gauge; 8. 滴灌带 Lateral pipe; 9. 水表 Flow meter; 10. 汇水回流管 Return pipe; 11. 支状滴灌系统 Branch drip irrigation system; 12. 0.05 m · s<sup>-1</sup> 回流滴灌系统 0.05 m · s<sup>-1</sup> return flow drip irrigation system; 13. 0.035 m · s<sup>-1</sup> 回流滴灌系统 0.035 m · s<sup>-1</sup> return flow drip irrigation system; 14. 0.015 m · s<sup>-1</sup> 回流系统 0.015 m · s<sup>-1</sup> return flow drip irrigation system

### 1.2 实验方法

在实验过程中通过调节系统首端和末端阀门的开启程度控制三种回流系统末端毛管处流速分别为 0.015、0.035、0.05 m · s<sup>-1</sup>,同时控制系统末端压力表读数为 1.0 × 10<sup>5</sup> Pa。实验装置每天 8:00—16:00 运行一个灌水周期,共进行 20 个灌水周期实验。在系统滴灌带的首端、10、25、40、50 m 分别设置五个取样点,在每个灌水周期开始运行 30 min 后,通过位于取样点滴头下方的集水器收集滴头出水水样 10 min,计算滴头流量同时测试取样点处滴头出水水样泥沙含量。并统计系统中各滴头堵塞位置及堵塞程度情况,同时对三种回流滴灌系统回流水水样进行取样,测试其泥沙含量。实验结束后将滴灌系统

毛管每 5 m 分割成一个取样测试管段,将毛管内沉积泥沙烘干、称重测试其泥沙沉积量。

### 1.3 评价指标与方法

研究人员<sup>[15]</sup>多使用克里斯琴森均匀系数表征滴灌系统的整体布水均匀性,侧面反映系统的整体堵塞情况。其中克里斯琴森均匀系数越大表明系统布水越均匀,数值越小说明系统堵塞各滴头流量差异越大,其计算公式为  $C_{\mu} = 1 - (\sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|) / n\bar{q}$ , 式中:  $C_{\mu}$  为克里斯琴森均匀系数;  $n$  为滴灌系统中滴头总数;  $q_i$  为滴头流量 ( $L \cdot h^{-1}$ );  $\bar{q}$  为系统中滴头平均流量 ( $L \cdot h^{-1}$ )。实验中通过对滴头出水流量的测试,认为当滴头流量小于额定流量 75% 时滴头发生严重堵塞。

## 2 结果与分析

### 2.1 系统灌水均匀度及滴头堵塞分析

图 2 所示为滴灌系统的克里斯琴森均匀系数随灌水周期的变化规律,图 3 则为滴灌系统 20 个运行周期结束后四种不同滴灌系统各位置处堵塞滴头数量统计。如图 2 所示,  $0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  回流滴灌系统的均匀系数在整个灌水周期内始终维持在 0.98 左右,这表明该滴灌系统的滴头布水均匀性较好,系统内多数滴头没有发生严重的堵塞,表现出较好的水力特性。而  $0.035 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  回流滴灌系统的均匀系数自第 16 个灌水周期开始逐渐降低,至第 20 个灌水周期结束时减少为 0.94,说明系统自第 16 个灌水周期开始堵塞滴头数量逐渐增多,系统滴头的布水均匀性逐渐变差但始终保持在 80% 的均匀性要求以上。支状滴灌系统及  $0.015 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  回流滴灌系统的均匀系数分别自第 13 和 15 个灌水周期开始减小,随灌水周期的继续上述两滴灌系统的灌水均匀系数均出现较大幅度的降低,至灌水周期结束时,支状滴灌系统和  $0.015 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  回流滴灌系统均匀系数分别降低至 64%、73%,表明两滴灌系统滴头发生严重堵塞使得均匀系数低于 80% 的设计要求。与此同时,通过对图 3 中堵塞滴头位置的统计发现,灌水周期结束时各滴灌系统均有发生完全堵塞的滴头,其中支状滴灌系统滴头堵塞数量最多共 28 个,  $0.015 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  回流滴灌系统次之为 21 个但均明显高于  $0.035 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  回流与  $0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  回流滴灌系统的 4 个和 3 个。此外,通过对毛管各位置堵塞滴头的分析发现,上述滴头的完全堵塞主要发生在末端 15 m 的滴灌带,这与毛管内各位置处沉积泥沙数量呈正相关。

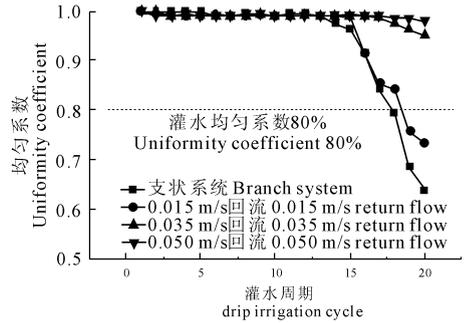


图 2 均匀系数随灌水周期变化

Fig. 2 Variation regularity of uniform coefficient with irrigation period

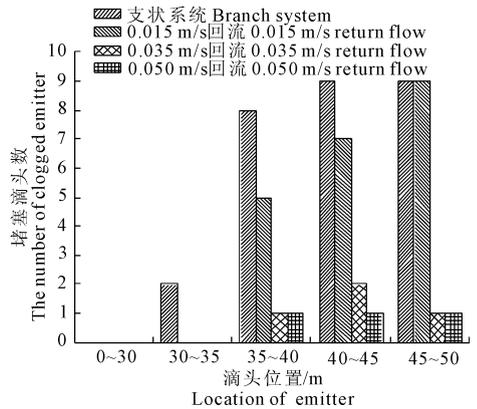


图 3 堵塞滴头统计

Fig. 3 The number and location of clogged emitter

通过对上述实验结论的分析发现,支状滴灌系统在运行周期内堵塞程度最为严重,灌水均匀系数降低明显,系统的抗堵塞性能较差,而  $0.015 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  回流滴灌系统的抗堵塞性能虽有提高但提升幅度有限。 $0.035 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  回流与  $0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  回流滴灌系统在灌水周期内始终表现出良好的灌水均匀性以及抗堵塞性能,这表明两种回流滴灌系统相较于传统支状滴灌系统具有明显的优越性。

### 2.2 滴灌毛管沉积分布规律

图 4 所示为滴灌系统灌水周期结束后将滴灌带以 5 m 为取样间隔进行分割,对毛管内沉积泥沙进行取样烘干称重,得到四种滴灌系统毛管沉积泥沙的分布情况。如图 4 所示,在毛管沿程 0~30 m 取样区间内表现为支状系统毛管沉积泥沙数量最多,而  $0.015 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  回流系统中毛管沉积泥沙数量低于支状系统但高于  $0.035 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  回流滴灌系统的毛管沉积泥沙数量,  $0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  回流系统中毛管内沉积泥沙数量最高;而在毛管沿程 30~50 m 取样区间内多表现为支状系统毛管沉积泥沙量大于回流滴灌系统,并且回流滴灌系统毛管内泥沙沉积数量随回流流速的提高沉积数量逐渐减少。通过对  $0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  回流滴灌系统沿程各取样区间内毛管沉积数量的分析发现在

毛管前后端呈现相异的分布特点,在毛管前段 0~30 m 的范围内各取样区间内毛管沉泥数量高于支状、0.015 m·s<sup>-1</sup>回流、0.035 m·s<sup>-1</sup>回流系统,但在毛管末段 35~50 m 的范围内沉泥数量却低于其余三种滴灌系统。通过对上述四种滴灌系统沿程各位置处沉泥数量累积发现支状、0.015 m·s<sup>-1</sup>回流、0.035 m·s<sup>-1</sup>回流、0.05 m·s<sup>-1</sup>回流滴灌系统的毛管沉泥总量分别为 2 579 g、2 209 g、1 678 g、1 592 g。通过对上述四种系统内毛管沉泥总量的分析发现,回流滴灌系统内毛管沉泥数量小于支状滴灌系统,毛管回流流速为 0~0.035 m·s<sup>-1</sup>时系统中毛管沉泥数量随回流流速的提高明显减少,但当回流流速增加为 0.035 m·s<sup>-1</sup>时流速继续提高对毛管沉泥总量的变化影响不大。通过对四种滴灌系统毛管内沉泥分析还可以发现,毛管内首端沉泥数量较少,沿毛管水流方向毛管内沉泥数量逐渐增多,至毛管末端时沉泥数量最多,Duran-Ros M<sup>[16]</sup>等人的研究也得出支状毛管末端沉泥数量最多的结论。从图中还发现,0.05 m·s<sup>-1</sup>回流滴灌系统毛管沿程泥沙分布相对更为均匀,而支状滴灌系统沿程各取样区间内泥沙分布差异表现的更为明显,上述泥沙分布规律的差异也可能是支状滴灌系统易堵塞的一个诱因。

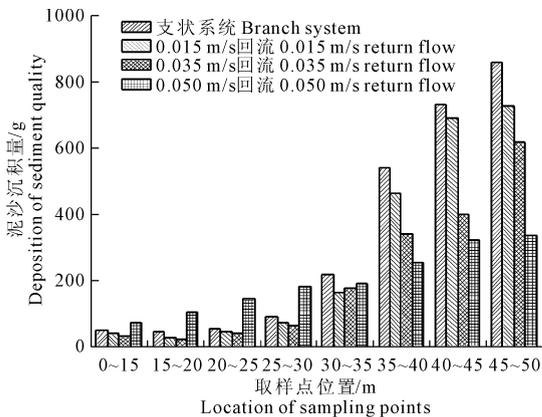


图 4 毛管沉泥沉积数量

Fig.4 Sediment deposition quantity in lateral pipe

之所以发生上述回流滴灌系统毛管沉积泥沙量少于支状滴灌系统,可能是回流滴灌系统末端设置回流管提高了系统内毛管流速,从而提高了系统毛管的输沙排沙能力减少了泥沙颗粒在毛管内的沉积,因此使得回流系统内沉积泥沙总量低于支状系统。

### 2.3 回流滴灌系统输沙效能分析

通过系统进水总量和进水泥沙含量计算得到进入系统的泥沙总量,对实验过程中取样点滴头出水含沙量和滴头出水总量的计算得到滴头输沙量,将回流管回水量和回流水含沙量计算得到回水输沙

量。图 5 所示为四种滴灌系统在 20 个灌水周期内进入系统泥沙总量、滴头输沙量、回水排沙量、毛管沉泥量的分布关系图。

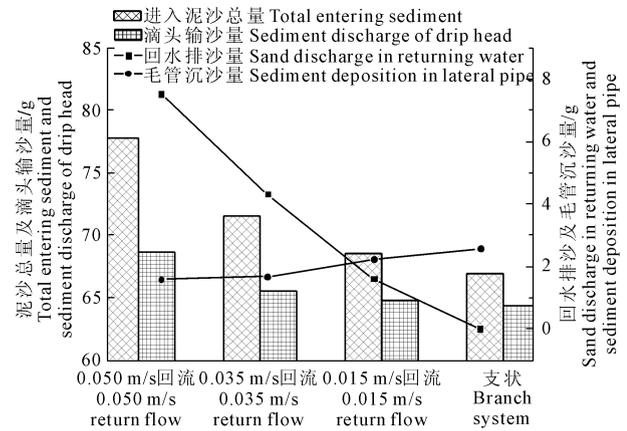


图 5 泥沙总量平衡计算图

Fig.5 The total amount of sediment balance calculation drawing

通过图 5 可以看出,进入 0.05 m·s<sup>-1</sup>回流、0.035 m·s<sup>-1</sup>回流、0.015 m·s<sup>-1</sup>回流、支状滴灌系统中的泥沙总量依次降低,分别为 77.81、71.54、68.61、66.92 kg,发生上述现象的原因是由于三种回流滴灌系统中设置回流管增加了系统首端的进水量,含沙量也随之增加。其中进入 0.05 m·s<sup>-1</sup>回流、0.035 m·s<sup>-1</sup>回流、0.015 m·s<sup>-1</sup>回流系统中的泥沙总量相对进入支状滴灌系统中泥沙总量分别增加 15%、7%、2%。通过对图 5 中滴头输沙总量的分析可以发现,0.05 m·s<sup>-1</sup>回流、0.035 m·s<sup>-1</sup>回流、0.015 m·s<sup>-1</sup>回流、支状四种滴灌系统滴头出水输沙总量依次为 67.72、66.18、65.62、63.12 kg,上述滴头出水泥沙总量中回流滴灌系统高于支状滴灌系统,并且在回流滴灌系统中随回流流速的增加滴头出水中的泥沙含量依次增加。上述滴头出水实现的泥沙输移分别占各个系统进水泥沙总量的 87.03%、92.51%、95.64%、94.32%。实验过程中对回流管输水的泥沙总量进行计算发现如下规律,随回流流速的增加回流管的输沙能力增加明显,三种回流滴灌系统回流水输沙总量分别为 7.52、4.30、1.59 kg,而支状滴灌系统中由于不具有毛管的末端排沙能力因此该数值为 0。上述回流管输沙数量分别占各系统进水泥沙总量的 9.66%、6.01%、2.32%、0。同时通过对滴灌毛管中沉积泥沙数量的计算发现,0.05 m·s<sup>-1</sup>回水、0.035 m·s<sup>-1</sup>回水、0.015 m·s<sup>-1</sup>回水、支状系统中泥沙沉积总量顺次增加,分别为 1.59、1.68、2.21、2.58 kg,泥沙沉积数量差异明显。计算毛管中沉积泥沙总量占各系统进水泥沙总量的百分比分别为 2.04%、2.35%、3.22%、3.86%。

通过对滴灌系统中各方向排沙量的统计发现,在四种滴灌系统中滴头出水的排沙量所占比重最大,均大于进入系统泥沙总量的 85%;回流滴灌系统中毛管回流输沙总量虽然只占总量的 10% 以下,但该部分泥沙输出可能是降低毛管内泥沙沉积量的主要原因;毛管中沉积泥沙量占进入系统泥沙总量比重最高仅为 3.86%,但上述泥沙沉积将导致毛管过水断面的减小,影响毛管内水流的正常流态,极大地增加了滴头堵塞的风险。

### 3 结 论

本文通过滴灌实验对支状及回流滴灌系统回流管出水中含沙量和毛管沉积数量的分析结合回流滴灌系统相对传统支状滴灌系统在布水均匀性及抗堵塞性能方面的差异得出如下实验结论:

1) 回流滴灌系统克里斯琴森均匀系数高于支状滴灌系统且滴头堵塞数量少于支状系统,表明回流滴灌系统运行过程中具有良好的布水均匀性和抗堵塞能力;

2) 回流滴灌系统毛管沉积泥沙数量低于支状滴灌系统,并随流速的提高毛管内沉积泥沙质量逐渐减少,表明回流滴灌系统可以明显降低滴灌系统内泥沙沉积总量;

3) 回流滴灌系统回流管排沙量随回流流速的提高逐渐增加,而支状滴灌系统则不具有毛管排沙能力,表明回流滴灌系统的毛管相较于支状滴灌系统具有良好的回流排沙性能。

#### 参 考 文 献:

- [1] Nakayama F S, Bucks D A. Water quality in drip/trickle irrigation: a review[J]. Irrigation Science, 1991,12(4):187-192.
- [2] 李云开,宋 鹏,周 博.再生水滴灌系统灌水器堵塞的微生物学机理及控制方法研究[J].农业工程学报,2013,29(15):98-

107.

- [3] Pei Y, Li Y, Liu Y, et al. Eight emitters clogging characteristics and its suitability under on-site reclaimed water drip irrigation[J]. Irrigation Science, 2014,32(2):141-157.
- [4] 孙步功,龚 俊,辛 舟,等.滴灌用黄河水泥沙分离试验研究[J].农业工程学报,2008,24(8):51-53.
- [5] 牛文全,刘 璐.浑水泥沙粒径与含沙量对迷宫流道堵塞的影响[J].排灌机械工程学报,2011,29(6):547-552.
- [6] Qingsong W, Gang L, Li W, et al. Experimental study on the multi-segment regime of the water flow in drip emitters[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2010,136(4):254-260.
- [7] Qingsong W, Gang L, Jie L, et al. Evaluations of emitter clogging in drip irrigation by two-phase flow simulations and laboratory experiments [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008,63(2):294-303.
- [8] 吴泽广,牛文全.泥沙级配对迷宫流道滴头堵塞及毛管内泥沙沉积的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(5):223-228.
- [9] Zhang J, Zhao W, Tang Y, et al. Anti-clogging performance evaluation and parameterized design of emitters with labyrinth channels[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010,74(1):59-65.
- [10] LI Y, YANG P, REN S, et al. Hydraulic characterizations of tortuous flow in path drip irrigation emitter[J]. Journal of Hydrodynamics, ser. B, 2006,18(4):449-457.
- [11] 刘春景,唐敦兵,何 华,等.滴灌三角形迷宫滴头水力性能稳健性分析[J].农业机械学报,2013,44(1):15.
- [12] Liu H, Huang G. Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent[J]. Agricultural Water Management, 2009,96(5):745-756.
- [13] Puig - Bargaúes J, Lamm F R. Effect of flushing velocity and flushing duration on sediment transport in microirrigation driplines[J]. Transactions of The ASABE, 2013,56(5):1821-1828.
- [14] Puig - Bargaúes J, Arbat G, Elbana M, et al. Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents[J]. Agricultural Water Management, 2010,97(6):883-891.
- [15] 吴泽广,张子卓,张珂萌,等.泥沙粒径与含沙量对迷宫流道滴头堵塞的影响[J].农业工程学报,2014,30(7):99-108.
- [16] Duran - Ros M, Puig - Bargaúes J, Arbat G, et al. Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents[J]. Agricultural Water Management, 2009,96(1):67-79.

(上接第 151 页)

**致谢:**本文承中国农业科学院作物科学研究所肖永贵博士、甘肃省农科院旱作所李兴茂研究员指导,谨谢。

#### 参 考 文 献:

- [1] 史聚宝,刘鹏忠.中麦 175 在甘肃东旱塬地区的高产潜力分析[J].作物杂志,2015,(2):178-152.
- [2] 付云章,聂龙兴,何晓滨,等.文山州旱地红壤辣椒的土壤养分丰缺及推荐施肥指标体系研究[J].中国农技推广,2015,(11):30-33.
- [3] 张 静,程 园.浅析肥料中有机质含量测定及影响因素[J].中国农技推广,2015,(12):44-46.

- [4] 郑 鑫.作物营养与施肥[J].作物营养与肥料学报,2006,12(4):473-478.
- [5] 李建军.作物配方施肥技术手册[M].北京:科技文化出版社,2006:713.
- [6] 何传龙.春甘蓝-玉米-冬甘蓝轮作制下氮肥施用量研究[J].中国农业科学,2007,40(11):2527-2534.
- [7] 廖晓勇.农田生态系统中土壤氮素行为的研究现状与展望[J].西南农业学报,2001,14(3):94-98.
- [8] 巨晓棠.北京郊区冬小麦/夏玉米轮作体系中氮肥去向研究[J].植物营养与肥料学报,2003,9(3):264-270.
- [9] 张俊民.论砂姜黑土的生产潜力和综合治理[C]//张俊民.砂姜黑土综合治理研究.合肥:安徽科技出版社,1988:2-11.