

地下滴灌灌水器负压吸泥影响因素试验研究

国攀, 张毅杰, 宋时雨, 杨昊霖, 杨振杰, 薛翔, 余杨

(云南农业大学 机电工程学院, 昆明 650201)

摘要:为了探究引起地下滴灌系统灌水器负压吸泥的影响因素,通过对比试验,研究分析了土壤类型、单次灌水量、灌溉次数、灌水器类型、保水剂和灌水间隔等6个因素对灌水器负压吸泥的影响规律。结果表明,①流量可调式灌水器出水孔外部及内部存在负压吸泥并引起堵塞情况。外部出水孔有3个被堵塞的所占比例最多,为26.7%;泥沙分布主要集中在灌水器出水孔的内侧附近,有极少部分泥沙甚至可以越过内凸边缘,进入灌水器内圈。②压力补偿式灌水器抗负压吸泥的能力强于流量可调式灌水器,压力补偿式灌水器外部出水口及内部未发现泥沙,而流量可调式灌水器外部出水口及内部有泥沙;灌水器在红壤土中比黄沙土中更容易出现负压吸泥情况,灌水器在红壤土中的内部泥沙量是黄沙土中的1.12~1.76倍。③灌溉方式(单次灌水量、灌溉次数、灌水间隔)对灌水器负压吸泥的影响显著。单次灌水量小的灌水器内部泥沙量较多,灌水器单次灌水量为170 mL内部泥沙量是250 mL的1.61~2.94倍;灌溉次数与负压吸泥量成正比,灌溉次数为16次的内部泥沙量是8次的3.48~5.41倍;在同一灌溉次数的条件下,灌水间隔长度与负压吸泥量成正比。④保水剂能够有效阻隔泥沙进入灌水器内部,在添加了保水剂的灌水器中,其内部未出现负压吸泥的现象。

关键词:地下滴灌;负压吸泥;内部泥沙量;灌水间隔

中图分类号: S275.4

文献标志码: A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.01.011

国攀,张毅杰,宋时雨,等. 地下滴灌灌水器负压吸泥影响因素试验研究[J]. 灌溉排水学报,2017,36(1):63-68.

0 引言

地下滴灌能将灌溉水、肥料等以小流量,均匀精确地输送到作物根区附近,以便作物根部吸收,有效地减少了地表蒸发和深层渗漏,是一种高效的节水灌溉技术^[1-4]。但是到目前为止,地下滴灌灌水器的堵塞问题还未完全解决。引起地下滴灌灌水器堵塞的原因非常复杂,除了常见的物理、化学和生物堵塞原因外^[5-7],还包括了由管网中的负压吸泥引起的灌水器堵塞。负压吸泥堵塞是指在关闭整个地下滴灌系统时,毛管中产生的负压能够将土壤中微小颗粒经灌水器的出水口吸入灌水器内部,经过长期的积累,造成灌水器堵塞^[8-12]。为了解决各类原因(包括灌水器类型、土壤类型,灌水量等)造成的地下滴灌灌水器负压吸泥堵塞问题^[13-16],许多专家学者开展了大量的堵塞因素及其抗堵方法的研究。王荣莲等^[8]在地下滴灌抗负压堵塞的试验研究中得出小流量灌水器在防止负压堵塞方面具有一定的优势。李久生等^[17]对运行2 a的日光温室番茄地下滴灌系统灌水器堵塞情况进行了田间评估,得出毛管末端灌水器最容易堵塞的结论。在前人研究基础上,设计2组试验,第一组试验研究灌水器的土壤类型、单次灌水量以及灌溉次数3个因素对负压吸泥产生的影响;第二组试验研究灌水器类型,以及灌水器出水孔是否带有保水剂这2个因素对负压吸泥产生的影响,为研制具有良好抗负压吸泥性能的灌水器提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤为云南红壤土和黄沙土,红壤土与黄沙土均取自于云南农业大学后山实验基地,其土壤机械组成如表1所示。

收稿日期:2016-06-14

基金项目:公益性行业(国土)科研专项(201511003-3)

作者简介:国攀(1990-),男,硕士研究生,主要从事农业设备装备研究。E-mail: 18767223062@163.com

通信作者:余杨(1958-),男,教授,主要从事农业工程、植物保护工程等方面的研究。E-mail: yuyang136@yeah.net

表1 试验土壤机械组成

土壤类型	体积质量/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^3$)	土壤颗粒组成/%		
		黏粒量(<0.002 mm)	粉粒量($\geq 0.002\sim 0.02$ mm)	砂粒量($\geq 0.02\sim 2$ mm)
红壤土	1.23	39.47	35.32	25.21
黄沙土	1.23	4.66	25.23	70.21

供试灌水器2种:流量可调式和压力补偿式灌水器,均由现代农林园艺微喷滴灌公司提供。流量可调式灌水器结构为扁圆柱形,均匀开有8个窄缝孔,出水孔的大小为 $1\text{ mm}\times 2\text{ mm}$,流量范围为 $0\sim 10\text{ L/h}$,压力范围为 $0.01\sim 0.3\text{ MPa}$;压力补偿式灌水器结构为扁圆柱形,在扁圆柱形表面只有1个突出的出水孔,直径为 1.5 mm ,灌水器内部有一迷宫式流道的垫片,流量 2 L/h ,压力范围为 $0.01\sim 0.3\text{ MPa}$ 。

保水剂(品牌:绿森,型号:SAP-30):主要成分为高分子吸水性树脂(简称SAP),SAP是低交联型聚丙烯酸钠盐,外观为白色颗粒,粒度为 $30\sim 50$ 目,生理盐水吸水量为 52 mL/g ,生理盐水保水量大于 36 mL/g 。无毒无味,能够反复的吸水、释水,利用保水剂吸水后体积迅速膨胀的特性,阻挡土壤微粒与灌水器出水口的接触,从而增强灌水器的抗负压吸泥能力。

1.2 试验系统

抗负压吸泥地下滴灌试验系统主要包括水源(自来水供水)、减压阀(方威公司,调压范围 $0.1\sim 0.8\text{ MPa}$)、灌水管道、水表、压力表、灌水器、花盆等,如图1所示。管道对称设置,使此系统中每个灌水器出水孔处的水压均相同(工作压力为 $0.05\sim 0.08\text{ MPa}$)。试验完成后的灌水器内部泥沙观察,用到数码显微镜(日本奥林巴斯公司,型号DP-70,放大倍数 $0\sim 35$)。

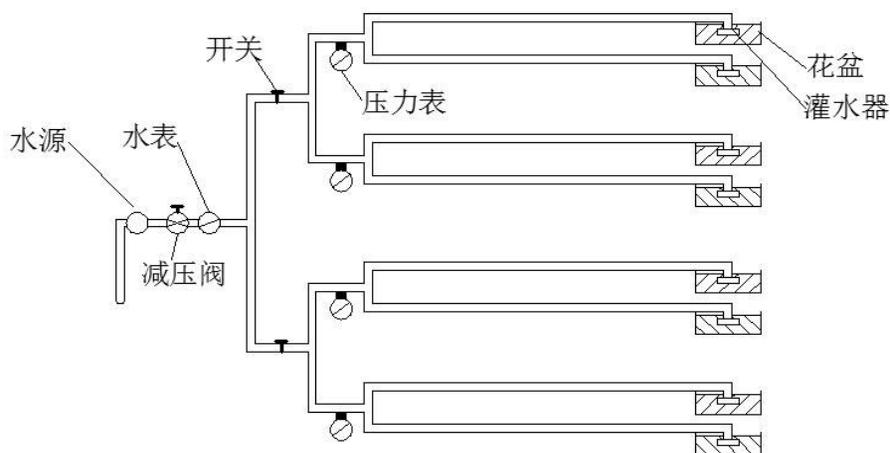


图1 抗负压吸泥地下滴灌试验系统示意图

1.3 试验方法

1.3.1 土壤类型、单次灌水量和灌溉次数对灌水器负压吸泥影响试验

在试验中,单次灌水量是指灌水器的单次出水量;灌水间隔是指第一次灌水与第二次灌水所隔的时间;灌溉次数是指在相同的灌水间隔下,试验全程灌水器灌溉的总次数。

试验采用2种单次灌水量(170 mL 和 250 mL),分别在2种不同的土壤中进行2种不同灌溉次数的试验(8次和16次),每次试验的灌水间隔均为 5 d ,重复3次,共进行24组试验(表2)。单次灌水量、灌溉次数和灌水间隔参数是根据本试验之前的辣椒种植预试验而选定。

表2 土壤类型、单次灌水量和灌溉次数的抗负压吸泥试验设计

灌溉次数	单次灌水量	土壤类型	灌水间隔
16次(G1)	170 mL(DT)	红壤土(S1)	5 d
8次(G2)	250 mL(DS)	黄沙土(S2)	

根据试验设计,将筛选好的土样,以体积质量为 1.23 g/cm^3 均匀填装在塑料花盆(上底直径为 35 cm ,下底直径为 22 cm ,盆高 30 cm)中^[18]。盆底设有5个排水小孔,孔径均为 1 cm 。灌水器从供试花盆土壤表面中心垂直向下埋入,埋深为 10 cm 。灌水试验进行时,利用减压阀控制灌水压力,范围在 $0.05\sim 0.08\text{ MPa}$ 内,每次灌水时所用的时间为 25 s 。

进行了2种不同灌溉时长的抗负压堵塞试验(36 d和76 d)。灌溉时长为36 d时,灌溉次数为8次;灌溉时长为76 d时,灌溉次数为16次。

1.3.2 灌水器类型和保水剂的抗负压吸泥试验

选用流量可调式和压力补偿式2种灌水器,用莱卡布浸湿后包住0.5 g保水剂,固定到灌水器的出水孔处,与无保水剂的灌水器进行对比。试验是在2种灌水器类型和2种土壤类型条件下,进行有、无保水剂抗负压试验。为缩短试验时间,采用3 d的灌水间隔,总共灌水次数为16次。灌水时压力为0.05~0.08 MPa,灌水量为170 mL,总灌溉时间为46 d。试验重复3次,共进行24组试验(表3)。

表3 灌水器类型和保水剂的抗负压吸泥试验设计

灌水器类型	土壤类型	保水剂	灌水间隔
流量可调式(D1)	红壤土(T1)	有保水剂(Y)	3 d
压力补偿式(D2)	黄沙土(T2)	无保水剂(N)	

1.3.3 数据采集方法

为了便于测定灌水器中的泥沙量,在灌水试验完成后,灌水器继续保留在花盆内15 d以上,使灌水器充分干燥,然后拍照记录灌水器出水孔外部堵塞的情况。拧开灌水器,利用数码显微镜对灌水器内部进行观测拍照(放大倍数为8倍),观测灌水器内部泥沙堵塞情况。将灌水器内部的泥沙取出,利用电子秤(精度0.001 g)进行称质量,记录各组试验的灌水器内部泥沙量。将获得的数据输入到SPSS19中,进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 各因素显著性分析

以土壤类型、灌溉次数、单次灌水量、灌水器类型、保水剂为自变量,灌水器内部泥沙量为因变量进行主问题效应检验,结果见表4。由表4可知,灌水器内部泥沙量与土壤类型、灌溉次数、单次灌水量、灌水器类型、保水剂等因素有关,影响显著($P<0.05$)。

表4 试验显著性分析

试验名称	影响因素	III型平方和	自由度	F	P
土壤类型、单次灌水量和灌溉次数对灌水器负压吸泥影响试验	土壤类型	5.163×10^{-5}	1	6.556	0.021
	灌溉次数	4.646×10^{-4}	1	59.005	0.000
	单次灌水量	2.788×10^{-4}	1	35.405	0.000
灌水器类型和保水剂的抗负压吸泥试验	灌水器类型	6.337×10^{-5}	1	52.448	0.000
	土壤类型	1.504×10^{-5}	1	12.448	0.003
	保水剂	6.338×10^{-5}	1	52.448	0.000

2.2 灌水器内、外泥沙堵塞分布观测

通过对2组试验灌水器外部进行观测,发现流量可调式灌水器(8个水平出水孔)的出水孔外部有堵塞情况(图2),而压力补偿式灌水器(单个向下出水孔)则没发现出水孔外部堵塞。试验共采用36个流量可调式灌水器,其中,出水孔处固定有保水剂的灌水器有6个,其出水孔外部没有出现堵塞情况;其余30个灌水器中,出水孔外部1个孔被泥沙堵塞的灌水器占13.3%,2个孔被泥沙堵塞的灌水器占13.3%,3个孔被泥沙堵塞的灌水器占26.7%,4个孔被泥沙堵塞的灌水器占10%,5个孔被泥沙堵塞的灌水器占13.3%,6个孔被泥沙堵塞的灌水器占10%。因此,3个孔被泥沙堵塞的灌水器所占比例最大。同时发现,在不同土壤中,外部堵塞情况存在差异。红壤土中流量可调式灌水器平均有3.3个出水孔被堵塞,而黄沙土中只有2.7个出水孔被堵塞,流量可调式灌水器在红壤土中的外部堵塞情况较为严重。

流量可调式灌水器内部可分为外圈和内圈。通过对灌水器内部进行观测,发现泥沙分布主要集中在灌水器外圈边缘,这些泥沙对每个出水孔的内侧都可能造成堵塞,因此,需要对内部泥沙量进行称质量分析。同时发现,有极少部分泥沙甚至可以越过内部凸起边缘,进入灌水器内圈(图3)。



图2 灌水器出水孔外部堵塞情况



图3 显微镜下灌水器内部泥沙堵塞情况

2.3 土壤类型、单次灌水量和灌溉次数试验结果分析

表5为土壤类型、单次灌水量和灌溉次数的试验结果。试验处理代码G1DTS1表示灌溉次数为16次, 单次灌水量为170 mL, 在红壤土中进行灌溉试验。由表5可见, 在单次灌水量和灌溉次数相同的条件下, 灌水器在红壤土中的泥沙堵塞量多于黄壤土中泥沙量。例如在红壤S1中, 处理代码为G1DTS1(单次灌水量为170 mL、灌溉次数为16次)的内部泥沙量为0.02 g; 而黄壤土S2中, 处理代码为G1DTS2(单次灌水量和灌溉次数与上相同)的内部泥沙量为0.014 7 g。灌水器在红壤土中的内部泥沙量是黄壤土中的1.36倍。因此红壤土更容易引起灌水器的堵塞。在上述的条件下, 灌水器在红壤土中的内部泥沙量是黄壤土中的1.12~1.76倍。

表5 灌水器内部泥沙量均值

g

试验名称	处理代码	均值
土壤类型、单次灌水量和灌溉次数对 灌水器负压吸泥影响试验	G1DTS1	0.020 0±0.005 7
	G1DSS1	0.008 0±0.001 4
	G2DTS1	0.003 7±0.002 1
	G2DSS1	0.002 3±0.000 8
	G1DTS2	0.014 7±0.001 2
	G1DSS2	0.005 0±0.001 4
	G2DTS2	0.003 3±0.000 7
	G2DSS2	0.001 3±0.000 7
灌水器类型和保水剂的抗负压吸泥试验	D1T1N	0.009 7±0.002 9
	D1T1Y	0±0
	D1T2N	0.003 3±0.001 1
	D1T2Y	0±0
	D2T1N	0±0
	D2T1Y	0±0
	D2T2N	0±0
	D2T2Y	0±0

在土壤类型与灌溉次数相同的条件下, 单次灌水量小的灌水器内部泥沙量较多。例如单次灌水量为170 mL时, 处理代码为G1DTS1(土壤类型为红壤土、灌溉次数为16次)的内部泥沙量为0.02 g; 而单次灌水量为250 mL时, 处理代码为G1DSS1(土壤类型和灌溉次数与上相同)的内部泥沙量为0.008 g。灌水器单次灌水量为170 mL的内部泥沙量是单次灌水量为250 mL的2.5倍。所以单次灌水量小的灌水器更容易引起堵塞。可见, 单次灌水量为170 mL内部泥沙量是250 mL的1.61~2.94倍。

在土壤类型与单次灌水量相同的条件下, 灌溉次数与负压堵塞量成正比, 总灌溉次数越多, 灌水器内部泥沙量就越多。例如总灌溉次数为8次时, 处理代码为G2DTS2(土壤类型为黄壤土、单次灌水量为170 mL)的内部泥沙量为0.003 3 g; 而总灌溉次数为16次时, 处理代码为G1DTS2(土壤类型和单次灌水量与上相同)的内部泥沙量为0.014 7 g。总灌溉次数为16次的内部泥沙量是总灌溉次数为8次的4.45倍。所以在同一灌溉间隔的情况下, 随着灌溉次数的增加, 灌水器容易出现负压堵塞的情况。可见, 灌溉次数为16次的灌水器内部泥沙量是8次的3.48~5.41倍。

2.4 灌水器类型和保水剂试验结果分析

灌水器类型和保水剂的试验结果见表5。试验处理代码D1T1N表示选用流量可调式灌水器条件下,灌水器出水口处不加保水剂,在红壤土中进行灌溉试验。由表5可得,灌水器类型对灌水器负压吸泥影响显著。压力补偿式灌水器无论在红壤土还是黄沙土中、是否有保水剂的情况下都未有泥沙出现,二者的内部泥沙量均为0;而流量可调式灌水器在无保水剂的情况下,在红壤土T1中,处理代码为D1T1N(灌水器类型为流量可调式灌水器、土壤类型为红壤土)的内部泥沙量为0.009 7 g;在黄沙土T2中,处理代码为D1T2N的内部泥沙量为0.003 3 g。压力补偿式灌水器抗负压吸泥的能力强于流量可调式灌水器。

在灌水器类型和土壤类型相同的条件下,保水剂能够阻隔泥沙进入灌水器内部。例如在无保水剂的情况下,处理代码为D1T1N(灌水器类型为流量可调式灌水器、土壤类型为红壤土)的内部泥沙量为0.009 7 g;而在有保水剂的情况下,处理代码为D1T1Y(灌水器类型和土壤类型与上相同)的内部泥沙量为0。所以灌水器出水孔有保水剂能够有效地阻隔泥沙。在黄沙土中,也得出了相似的试验结果。

同时可以看出,流量可调式灌水器在红壤土的抗负压吸泥能力低于黄沙土中。

2.5 灌水间隔因素对灌水器内部泥沙堵塞量的影响

将“土壤类型、单次灌水量和灌溉次数试验”与“灌水器类型和保水剂试验”进行比较,发现在同一灌溉次数的条件下,灌水间隔长度与负压堵塞量成正比。例如,在表5中,灌水间隔为5 d,处理代码为G1DTS1(流量可调式灌水器、单次灌水量为170 mL、红壤土、灌溉次数为16次)的内部泥沙量为0.02 g;而灌水间隔为3 d,处理代码为D1T1N(灌水器类型、单次灌水量、土壤类型和灌溉次数与上相同)的内部泥沙量为0.009 7 g。灌水间隔为5 d的灌水器内部泥沙量是灌水间隔为3 d的2.06倍。同理,在黄沙土中,也得到相似的试验结果,即在同一灌溉次数的条件下,灌水间隔长度与负压吸泥量成正比。

3 结 论

1)流量可调式灌水器出水孔外部及内部存在负压吸泥并堵塞情况。外部出水孔有3个被堵塞的所占比例最多,为26.7%;通过对灌水器内部进行观测,发现泥沙分布主要集中在灌水器出水孔的内侧附近,有极少部分泥沙甚至可以越过内凸边缘,进入灌水器内圈。

2)灌水器类型及土壤类型对灌水器负压吸泥的影响显著。压力补偿式灌水器抗负压吸泥的能力强于流量可调式灌水器,压力补偿式灌水器外部出水口及内部未发现有泥沙,而流量可调式灌水器外部出水口及内部有泥沙;灌水器在红壤土中比黄沙土中更容易出现负压吸泥情况,灌水器在红壤土中的内部泥沙量是黄沙土中的1.12~1.76倍。

3)灌溉方式(单次灌水量、灌溉次数、灌水间隔)对灌水器负压吸泥的影响显著。单次灌水量小的灌水器内部泥沙量较多,灌水器单次灌水量为170 mL的内部泥沙量是250 mL的1.61~2.94倍;灌溉次数多的灌水器内部泥沙量较多,灌溉次数为16次的内部泥沙量是8次的3.48~5.41倍,灌水器内部由于负压而引起的泥沙量,随着时间的增长逐年积累增多;在同一灌溉次数的条件下,灌水间隔长度与负压吸泥量成正比。

4)保水剂的添加对灌水器负压吸泥的影响显著。保水剂能够有效阻隔泥沙进入灌水器内部,在添加了保水剂的灌水器中,其内部未出现负压吸泥的现象。

单次灌水量小的灌水器内部泥沙量较多的结果与王荣莲等^[8]的研究结果不同,主要原因是本试验选用的管上式灌水器与滴灌带的流道不同,研究中关于保水剂添加的内容有待进一步分析,对运行更长时间的灌水器负压吸泥情况有待进一步研究。可以将上述的试验结果用于实际作物的种植,进行进一步的验证。

参考文献:

- [1] 薛英文,杨开,李白红,等. 中水微灌系统生物堵塞特性探讨[J]. 中国农村水利水电,2007(7):36-39.
- [2] 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.
- [3] 杨振杰,张新星,彭云,等. 微灌系统堵塞原因和抗堵方法探讨[J]. 江苏农业科学,2015,43(7):440-443.
- [4] 程先军,许迪,张昊. 地下滴灌技术发展及应用现状综述[J]. 节水灌溉,1999(4):13-15.
- [5] 刘璐,李康勇,牛文全,等. 温度对施肥滴灌系统滴头堵塞的影响[J]. 农业机械学报,2016,47(2):98-104.
- [6] ADIN A, SACKS M. Drip-clogging factors in wastewater irrigation[J]. Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, 1991, 117(6): 813- 826.
- [7] 刘璐,牛文全. 滴灌灌水器流道堵塞及防治研究进展[J]. 农机化研究,2014(4):13-18.

- [8] 王荣莲,龚时宏,王建东,等. 地下滴灌抗负压堵塞的试验研究[J]. 灌溉排水学报,2005,24(5):18-21.
- [9] NAKAYAMA F S, BUCKS D A. Water quality in drip trickle irrigation: a review[J]. Irrigation Science, 1991(12):187-192.
- [10] SUAREZ-REY EM, CHOI C Y, MCCLOSEKEY W B, et al. Effects of chemicals on root intrusion into subsurface drip emitters[J]. Irrigation and Drainage, 2006, 55:501-509.
- [11] 王亚林,朱德兰,张林,等. 滴灌毛管泥沙分布与灌水器堵塞试验研究[J]. 农业机械学报,2014,45(6):177-182.
- [12] 王心阳,王文娥,胡笑涛,等. 泥沙粒径及压力对滴头堵塞性能的影响[J]. 节水灌溉,2014(10):18-21.
- [13] 李云开,王伟楠,孙昊苏. 再生水滴灌毛管内颗粒-管壁碰撞特性研究[J]. 农业机械学报,2015,46(9):159-166.
- [14] 高胜国,张祖新,齐学斌,等. 新型抗堵塞地下灌溉系统技术方案[J]. 节水灌溉,2001(4):21-22.
- [15] 张德茹,梁志勇. 不均匀细颗粒泥沙粒径对絮凝的影响试验研究[J]. 水利水运科学研究,1994(12):11-17.
- [16] 刘艳芳,吴普特,朱德兰. 温室水肥滴灌系统迷宫式灌水器堵塞试验研究[J]. 农业机械学报,2014,45(12):50-55.
- [17] 李久生,陈磊,栗岩峰,等. 地下滴灌灌水器堵塞特性田间评估[J]. 水利学报,2008,39(10):1 272-1 278.
- [18] 余杨,杨振杰,张建新,等. 不同根部微灌水器对云南红壤和黄沙土水分分布的影响[J]. 农业工程学报,2015,31(19):84-90.

Influencing Factors of Negative Pressure Suction for Mud in Subsurface Drip Irrigation Emitter

GUO Pan, ZHANG Yijie, SONG Shiyu, YANG Haolin, YANG Zhenjie, XUE Xiang, YU Yang
(College of Mechanical and Electrical Engineering, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: In order to explore the influencing factors of negative pressure suction for mud of emitter under the SDI system, the influencing laws of the 6 factors, including soil type, single irrigation amount, irrigation times, emitter type, water retaining agent and irrigation interval, were studied by contrast test. The results indicated that, ①negative pressure suction for mud and blocking condition were in existence both in the external and internal of water outlet of adjustable flow emitter. Three external water outlets were blocked with the largest ratio of 26.7%. The sediment distribution was mainly concentrated in the vicinity of the medial emitter outlets; very little part of the sediment even crossed the inner convex edge into the inner ring of the emitter. ②The ability of resisting negative pressure suction for mud of emitter in pressure compensating emitter was stronger than that of the flow adjustable emitter. No sediment was found in the external and internal water outlets of pressure compensating emitters, while some sediment was found in the external and internal water outlets of adjustable flow emitters. The negative pressure suction for mud was more prone to red soil than sand soil. The amount of internal sediment of emitter in red soil were 1.12~1.76 times than that of the amount in sand soil. ③The effect of irrigation methods (the amount of single irrigation, irrigation times, and irrigation interval) on negative pressure suction for mud of emitter was significant. The emitters with small internal single irrigation amount had a bigger amount of sediment. The amount of internal sediment in 170 mL single irrigation were 1.61~2.94 times than the amount in 250 mL. Irrigation times were directly proportional to the amount of negative pressure for mud. The amount of internal sediment for the 16 times of irrigation were 3.48~5.41 times than the amount in 8 times. Under the condition of the same irrigation times, the length of irrigation interval was directly proportional to the amount of negative pressure for mud. ④There was no negative pressure sucking mud in the emitter with water retaining agent. This paper provides a theoretical basis for the development of the irrigation device with the performance of good anti-negative-pressure-suction for mud of emitter.

Key words: SDI; negative pressure suction for mud; internal sediment amount; irrigation interval

责任编辑:陆红飞