

低压下加肥对迷宫滴头流量及灌水均匀度的影响

杜立鹏,张新燕

(西北农林科技大学水利与建筑工程学院,陕西 杨凌 712100)

摘要: 针对滴灌中侧翼迷宫式滴灌带的流量、灌水均匀度、肥料堵塞等问题,对4种不同规格的侧翼迷宫滴灌带进行试验,测定在清水和加肥灌水时滴头的流量及灌水均匀度。结果表明:加肥灌水时滴头流量比清水时减少,灌水均匀系数也较清水减小,4种不同结构滴头的灌水均匀度系数减小了5%~9.9%;随着灌水间隔增长,灌水次数增加,由于溶解在水中化学肥料结晶析出造成的堵塞程度逐渐增加;迷宫流道结构不同滴头的化学堵塞程度也不同。

关键词: 滴灌带;滴头流量;灌水均匀度;堵塞

中图分类号: TV93 **文献标志码:** A

Influence of injected fertilization under low pressure on dripper discharge and uniformity coefficient

DU Li-peng, ZHANG Xin-yan

(College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: To address the concerns about dripper discharge, uniformity coefficient, and blockage of flanking labyrinth drip tape, a series of experiments were carried out to test the effects of clear water and fertilizer water on the uniformity coefficient and blockage of the dripper discharge. The results showed that dripper discharge became less with the injection of fertilizer water than clear water, as well as the uniformity coefficient, which was reduced by 5%~9% in four drippers with different structures. With the increases of irrigation time intervals and frequencies, the blockage degree of drip irrigation will increase due to the crystallization of chemicals in water. Different structures of the drip irrigation tape had different effects on the degree of blockage.

Keywords: drip irrigation tape; dripper discharge; uniformity coefficient; blockage

滴灌用水具有高效、节能等特点,是当今最有发展前景的先进灌水技术之一^[1]。但是由于滴灌是以低压小流量通过特定的灌水器灌水,流道细小,堵塞问题一直是其发展的主要限制因素^[2]。针对不同水质对滴灌带滴头水力特性影响,不少专家对此问题进行了专门研究。Chen P H等^[3]对不同水质条件下灌水器结构对堵塞的影响与成因进行分析。Capra A等^[4]提出了不同水质中成分不同对灌水器产生堵塞的原理不同。国内在该方面也有一定研究。张新燕等^[5]对滴头堵塞的水质化学处理进行了研究,发现不同水质对滴头堵塞情况不同。姜珊等^[6]研究不同含沙滴灌条件下滴灌带的堵塞情况,分析了不同泥沙粒径对滴灌带出流特性的影响。近些年,随着水肥一体化技术的不断应用^[7],有学者提

出了灌溉水中溶解化肥对滴灌系统水力性能是否有影响的问题,但是,具体产生怎样的影响还研究较少。加肥以后水本身的性质发生了变化^[8],包括密度和粘滞系数等,这些因素的改变是否会对滴灌带滴头水力特性产生影响。溶解化肥的水在进入灌水器流道会发生结晶、析出和再溶解的情况^[7],这一过程是否会对滴头产生堵塞。该文通过研究加肥溶液对滴灌带滴头流量、灌水均匀度、滴头堵塞等问题,为水肥一体化滴灌技术的推广应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在西北农林科技大学水力学灌排试验大厅进行。选取国内常用的4种侧翼迷宫滴灌带进行试

收稿日期:2014-02-05

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划“微灌工程系统集成与配套设备开发”项目(2011BAD29B02)

作者简介:杜立鹏(1987—),男,甘肃环县人,硕士研究生,研究方向为节水灌溉。E-mail:121871584@qq.com。

通讯作者:张新燕(1972—),女,河南开封人,副教授,主要从事水力学等方面的教学和研究工作。E-mail:4747168@qq.com。

验,其参数规格见表 1。4 种滴灌带滴头间距均为 0.3 m,管径均为 16 mm,迷宫流道均为锯齿状。试验中采用水溶性肥料多肽尿素,其总氮含量 \geq

46.2%,粒度 d 为 0.85~2.80 mm,溶解后水中的杂质含量不到 1%,结晶后为淡黄色或白色粒状或短棒状结晶体。

表 1 滴灌带规格

Table 1 Comparison of drip tape specification

滴灌带 编号 Drip tape number	额定压力 Rated pressure /MPa	额定流量 Rated discharge /(L·h ⁻¹)	壁厚 Wall thickness /mm	齿尖角 Jagged angle /(°)	齿宽 Jagged width /mm	齿高 Jagged height /mm	流道深度 The depth of runner/mm	流道断面 面积 The wet area of runner/mm ²
A	0.10	1.5	0.100	67.5	1.07	0.8	0.80	0.688
B	0.10	3.0	0.400	75.0	2.46	1.6	0.90	0.824
C	0.04	1.0	0.095	60.0	1.39	1.2	0.85	0.960
D	0.10	1.0	0.200	45.0	0.83	1.0	0.70	0.760

1.2 试验装置

如图 1 所示,试验装置由水箱、加压设备、试验用滴灌带组成。水从水箱引出以后,经过电泵加压,通过控制阀和压力表配合使用调节进口压力,灌入滴灌带中。压力表精度为 0.002 MPa,水泵型号为漩涡自吸式电泵 25WZB-35,水箱为正方体,体积为 1 m³。

肥液灌水试验中,测定方法与清水相同。由于各种作物容许喷施的尿素不超过 5.0%^[11],故试验配制了质量浓度为 5.0% 的多肽尿素溶液进行分析研究。清水灌溉阶段记为第 1 阶段,灌水时间为 1 h;第 1 阶段结束后,立即按照 5.0% 的浓度配制加肥溶液继续灌水 1 h,为第 2 阶段;第 2 阶段灌水结束后,停止灌水时间(灌水间隔)为 2 h;然后继续用加肥溶液灌水,时间为 1 h,为第 3 阶段;第 3 阶段结束后,也是 2 h 的灌水间隔时间,最后再进行加肥溶液灌水,时间为 1 h,为第 4 阶段,然后试验结束。每个试验进行 3 次重复,取平均值进行分析。

1.3.2 灌水均匀度的计算方法 滴灌带灌水均匀度是衡量灌水质量优劣的一个主要指标,按照《微灌工程技术规范》^[12] 中的规定,滴灌系统的灌水均匀度可用克里斯琴森均匀系数 C_u 来表示。并由下式计算:

$$C_u = 1 - \frac{\Delta q_{\text{平}}}{q_{\text{平}}} \quad (1)$$

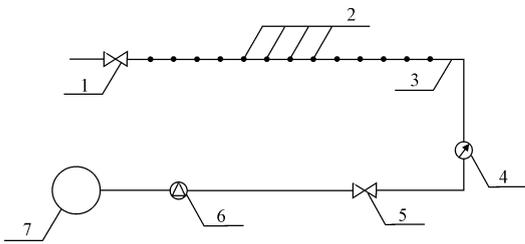
$$\text{其中 } \Delta q_{\text{平}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |q_i - q_{\text{平}}|, q_{\text{平}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i$$

式中, C_u 为灌水均匀系数; $\Delta q_{\text{平}}$ 为灌水器流量的平均偏差 ($\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$); q_i 为室内实测的各滴头流量 ($\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$); $q_{\text{平}}$ 为滴头平均流量 ($\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$)。

2 结果与分析

2.1 加肥对毛管滴头流量的影响

图 2 为 4 种不同型号的滴灌带在第 1 阶段和第 2 阶段灌水时滴头平均流量的对比曲线(采样点为灌水器从毛管入口开始编号)。通过图 2 可以看出,加肥以后 4 种滴灌带滴头流量都比清水小,其中, A 型滴灌带减少的最多,平均流量减小了 $0.011 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$, B 型滴灌带减少的最小,平均流量减小了



注:1. 止水夹; 2. 滴头; 3. 滴灌带; 4. 压力表; 5. 控制阀; 6. 水泵; 7. 水箱

Note: 1. Sealing clip; 2. Dripper; 3. Drip irrigation tape; 4. Pressure gauge; 5. Control valve; 6. Pump; 7. Tank

图 1 试验装置布置示意图

Fig. 1 Schematic layout of test device

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 根据徐明金等^[9-10]研究提出低压条件下滴灌带滴头流量受温度影响显著,因此本试验温度严格控制在 $10^\circ\text{C} \sim 13^\circ\text{C}$ 。本试验中 4 种不同型号的滴灌带选取相同长度,每条滴灌带按 10 m 长铺设,一次铺一条滴灌带,将每条滴灌带上 33 个滴头作为采样点,首先对滴灌带在清水条件下的出流量进行测定(作为对照),启动控制阀,通过高精度压力表调节进口压力值为 0.01 MPa ,出流稳定后开始计时,将量杯按 2 s 间隔平稳放置在滴头正下方,灌水 1 h 后依次按 2 s 间隔将量杯挪出,然后用电子秤称量量杯的质量,再把质量流量换算成体积流量,清水灌水时间为 1 h,测得 3 组数据,求平均值。

$0.004 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ 。C 型滴灌带和 D 型滴灌带减小值分别为 0.008 、 $0.009 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ 。分析原因,加肥以后水本身的性质发生了改变,通过查阅资料^[13-15],加肥溶液的动力粘滞系数增大,而液体的性质对摩擦力的影响是通过动力粘滞系数来反映的,粘滞性是液体在运动状态时抵抗剪切变形的性质。注入加肥溶液以后,溶液的动力粘滞系数增大,液体的粘滞性作用就会变强,溶液在管道内的流速就会减小,单位时间内流过单位面积的溶液体积就会变小。所以,加肥条件下滴灌带的体积流量会比清水条件下滴灌带的体积流量小。由图 2 还可以看出,不同滴灌带类型

滴头流量的减小程度不同,A 型滴灌带减少的最多,B 型滴灌带减少的最小。分析原因,本试验选取的 4 种滴灌带迷宫流道虽都是锯齿状,但流道结构参数不同,流道结构参数不同在不同粘滞系数的溶液灌入后所引起的变化有差异^[16]。由于流道深度对滴灌带水力性能影响不大^[17],而齿高越大,流道内有效过流面积就会越小,受主流区水流作用力就小,流量的变化就较小,B 型滴灌带齿高为 4 种滴灌带中最大的,加肥以后滴头流量减少的就最小;A 型滴灌带齿高最小,有效过流面积越大,加肥以后滴头流量减少的最大^[18]。

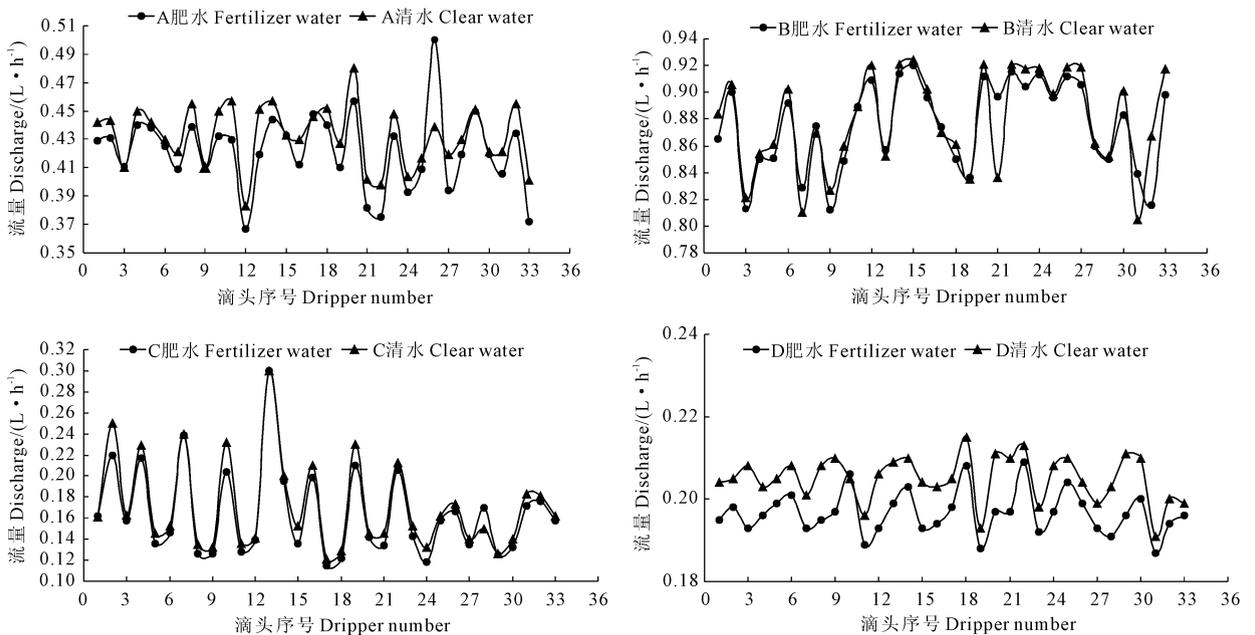


图 2 不同滴灌带滴头流量的变化

Fig.2 Flow rate variations using different drip irrigation tapes

2.2 加肥对滴灌带灌水均匀度的影响

由表 2 看出,第 2 阶段灌水均匀系数较第 1 阶段变化不大。随着停水时间的加长,灌水次数的增多,灌水均匀系数都较第一阶段减小,从第四阶段与第一阶段灌水均匀度的对比看,C 型滴灌带灌水均匀系数减小最多,减小值为 0.078 ;A 型滴灌带灌水均匀系数减小最少,减小值为 0.05 。分析原因,在其他条件一定的情况下,影响滴灌带灌水均匀系数的主要因素是灌水器的制造误差^[19],在不同水质情况下,制造误差的表现程度不同,加肥以后使水本身的性质发生了变化,对制造误差的响应程度不同。C 型滴灌带薄壁新型滴灌带,其制造误差较大,灌水均匀系数减小明显。A 型滴灌带制造误差最小,灌水均匀系数变化最小。由表 2 还可以看出,不同型号的滴灌带受影响程度不同,4 种滴灌带受影响程度分别是: C 型滴灌带 > B 型滴灌带 > D 型滴灌带

表 2 各滴灌带灌水均匀系数对比

Table 2 Comparisons of different drip irrigation uniformities

阶段 Stage	A	B	C	D
第 1 阶段 The first stage	0.952	0.973	0.791	0.971
第 2 阶段 The second stage	0.951	0.972	0.792	0.969
第 3 阶段 The third stage	0.914	0.933	0.741	0.945
第 4 阶段 The fourth stage	0.902	0.912	0.713	0.914

> A 型滴灌带。分析原因,在滴灌带各个参数中,与滴灌带灌水均匀度密切相关的参数是流道断面面积,流道断面面积越小,灌水器的压力补偿性就越高,灌水均匀度就越高^[20]。A 型滴灌带的流道断面面积最小,值为 0.688 mm^2 ,C 型滴灌带的流道断面面积最大,值为 0.96 mm^2 ,所以,A 型滴灌带的灌水

均匀系数最大,C型滴灌带的灌水均匀系数最小。

2.3 加肥溶液灌水次数对滴头堵塞的影响

由图3看出随着灌水次数增加,4种滴头的流量均在减少,而且随停水时间加长,流量减小的值越大。流量减小最快的是B型滴灌带,减小值为 $0.069 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$;流量减小最少的是D型滴灌带,减小值为 $0.041 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ 。分析原因^[21],刚开始时期尿素溶液只是在小量的堆积,对滴灌带造成的堵塞影响还不明显,随着停水时间的加长,滴灌带中尿素溶液的堆积量不断增加,滴灌带里堆积量不能随水分进入迅速溶解,这是造成堵塞的主要原因。这与泥沙颗粒沉积会造成灌水器不同程度堵塞^[6]原理类似。从图3还可以看出,不同型号的滴灌带堵塞程度不同,B型滴灌带堵塞程度最大,D型滴灌带堵塞程度最小。分析原因,主要引起上述变化的参数是齿尖角,齿尖角越大,流道内流场运动越紊乱,肥料结晶在流道内的平均运动速度越小,低速运动的时间越长,灌水器发生堵塞的程度就越大^[22]。B型滴灌带齿尖角最大,为 75° ,所以B型滴灌带堵塞最严重。D型滴灌带齿尖角最小,为 45° ,堵塞程度最轻。

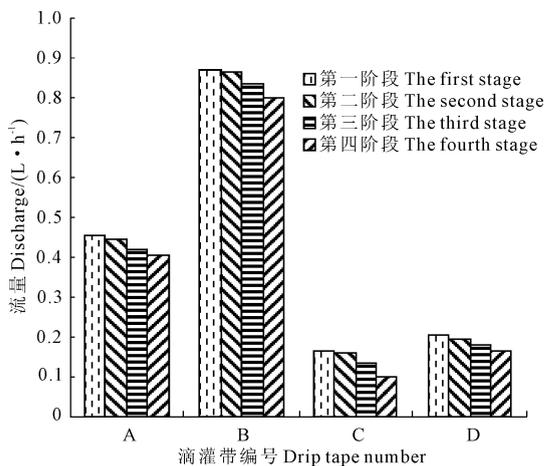


图3 4种滴灌带滴头流量随停水时间延长的变化

Fig.3 Changes of dripper discharge with prolonged water standing

3 结论

1) 4种滴灌带加肥以后滴头流量均减小,并且滴灌带迷宫流道结构不同,减小的程度不同,A型滴灌带减少的最多,B型滴灌带减少的最小。原因是流道深度对滴灌带水力性能影响不大,主要的影响参数为齿高,齿高越大,流道内有效过流面积就会越小,受主流区水流作用力就小,流量的变化就较小。

2) 加入肥料使得滴灌带的灌水均匀度下降,影响明显,而且不同型号的滴灌带受影响程度不同,4种滴灌带受影响程度分别是:C型滴灌带>B型滴灌带>D型滴灌带>A型号滴灌带。

3) 随着滴灌带停水时间加长,灌水次数的增加,其堵塞程度会不断增加,不同结构的滴灌带堵塞的程度不同。随着停水时间的加长,灌水次数的增加,滴灌带中尿素溶液的堆积量不断增加,滴灌带里堆积量不能随水分进入迅速溶解,这是造成堵塞的主要原因。

参考文献:

- [1] 王留运,叶清平,岳兵.我国微灌技术发展的回顾与预测[J].节水灌溉,2000,(3):3-7.
- [2] 吴显斌,吴文勇,刘洪禄,等.再生水滴灌系统滴头抗堵塞性能试验研究[J].农业工程学报,2010,24(5):61-64.
- [3] Chen P H, Leung K C, Wang J T. Investigation of a ponding irrigation system to recycle agricultural wastewater[J]. Environment International, 2000, 26(1/2): 63-68.
- [4] Capra A, Scicolone B. Wastewater reuse by drip irrigation[J]. Agricultural Water Management, 2004, 68(2): 135-149.
- [5] 张新燕,陈凤,李华莹.单翼迷宫贴壁式滴灌带水力性能初步试验研究[J].干旱地区农业研究,2004,22(4):225-228.
- [6] 姜珊,范兴科,叶成恒,等.不同水质条件下灌水器抗堵塞性能研究[J].中国农村水利水电,2010,(4):25-28.
- [7] 刘建英,张建玲,赵宏儒.水肥一体化技术应用现状、存在问题与对策及发展前景[J].内蒙古农业科技,2006,(6):32-33.
- [8] 邵爽,胡新根,林瑞森.水溶液中八种氨基酸与尿素的焓相互作用[J].化学学报,2000,(10):56-58.
- [9] 徐明金,聂境,葛旭峰,等.低压条件下滴灌带的水力特性及温度影响效应试验[J].中国农村水利水电,2010,(12):8-10.
- [10] 牛文全,吴普特,范兴科.低压滴灌系统研究[J].节水灌溉,2005,(2):29-32.
- [11] 李万星,刘永忠,曹晋军,等.肥料与密度对玉米农艺性状和产量的影响[J].中国农学通报,2011,27(15):194-198.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB/T50485-2009.微灌工程技术规范[S].北京:中国计划出版社,2009.
- [13] 莫丽霞,赵亮,陈旭.实验室测定液体粘滞系数的一种新方法[J].实验室研究与探索,2008,(11):10-11.
- [14] 钱祖文.颗粒介质中的粘滞系数[J].物理学报,2012,(13):220-223.
- [15] 孙红,韩光,陶建华.波流相互作用下沿垂向的水流结构及其实验验证[J].水利学报,2001,(7):63-68.
- [16] 魏正英,唐一平,赵万华,等.滴灌灌水器迷宫流道结构与水力性能实验研究[J].农业机械学报,2005,36(12):51-54.
- [17] 李云开,刘世荣,杨培岭,等.滴头锯齿型迷宫流道消能特性的流体动力学分析[J].农业机械学报,2007,38(12):49-52.
- [18] 武鹏,牛文全,常莹华,等.齿形迷宫流道不同结构参数下灌水器抗堵塞性能研究[J].节水灌溉,2010,(5):1-4.
- [19] 马晓鹏,龚时宏,王建东,等.低压条件下滴灌带灌水均匀系数试验研究[J].灌溉排水学报,2010,(8):6-10.
- [20] 李琳,李治勤.迷宫流道断面形状对灌水器水力性能的影响[J].山西水利科技,2010,(3):4-7.
- [21] 何绪生,廖宗文,黄培钊,等.保水缓/控释肥料的研究进展[J].农业工程学报,2006,22(5):36-40.
- [22] 牛文全,喻黎明,吴普特,等.迷宫流道转角对灌水器抗堵塞性能的影响[J].农业机械学报,2009,40(9):51-55.