

温室水肥滴灌系统迷宫式灌水器堵塞试验*

刘燕芳¹ 吴普特^{1,2} 朱德兰¹ 张燕¹

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 为探明温室滴灌灌水器堵塞的影响因素及机理,研究了灌水量和施肥量对灌水器堵塞的影响,并利用场发射扫描电镜分析了灌水器内的堵塞物质。结果表明,灌水器平均流量随着灌水量和施肥量的增加呈下降趋势,下降幅度在1.51%~14.16%之间。方差分析表明施肥量对灌水器平均流量的影响达到极显著水平($P < 0.01$)。解剖灌水器后发现堵塞物质多沉积在流道前部。堵塞物质主要由生料带残渣、微小沙粒和白色粉末状化学沉淀物组成,其中白色粉末主要由钙、镁、碳、氧、磷元素等组成。说明本试验中灌水器堵塞主要是由物理堵塞和化学堵塞共同作用引起的。

关键词: 温室滴灌 滴灌施肥 化学堵塞 堵塞物成分

中图分类号: S275.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)12-0050-06

引言

与其他灌溉方式相比,滴灌能将灌水和施肥结合在一起,实现水肥管理的一体化。虽然水肥一体化使滴灌具有节水、节肥、省工、增产的优势,但由此引发的灌水器堵塞却一直是最常见且最重要的问题之一^[1-2]。根据堵塞机理可将灌水器堵塞分为物理、化学和生物堵塞3类,水质是影响灌水器堵塞类型的重要因素^[3-4]。当使用再生水进行滴灌时,由于再生水水质复杂,其中含有大量的固体悬浮颗粒、盐分离子、藻类、有机污染物及微生物等,使得再生水滴灌系统的灌水器堵塞机理非常复杂^[5]。近年来国内外许多学者研究发现,滴灌系统内生物膜的生长和脱落是造成灌水器堵塞的原因^[6-9],也有学者认为化学沉淀是再生水滴灌引起灌水器堵塞的主要方式^[10]。当灌溉水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 等离子浓度较高时,会产生 CaCO_3 、 CaSO_4 和 MgCO_3 等化学沉淀物沉积在流道内引起灌水器堵塞,尤其是在灌溉水pH值较高的情况下,由此引发的灌水器堵塞问题更加突出^[11-13],因此,水中高含量的可溶性盐是灌水器发生化学堵塞的重要因素。当化肥注入滴灌系统时,由于化肥的可溶性和种类间的兼容性问题,使得灌水器更容易发生堵塞。Sagi等认

为化肥和 CaCO_3 沉淀的结合产物是引起灌水器堵塞的主因^[14]。Bozkurt等研究发现多种化肥混施时,同时包含 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 肥料的施肥方式易导致灌水器堵塞^[15]。

De Kreij等研究发现灌溉水中高含量的甲烷会导致灌水器的严重堵塞^[16]。李久生等提出由于灌溉水中 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的浓度和温室内的温度均较高,使得灌水器出口处沉积了大量白色或浅黄色固体微粒,因此,化学堵塞是造成灌水器堵塞的主要原因^[17]。可见,温室滴灌系统由于环境温度高、灌水频率高、水肥混施等原因,使得灌水器更易发生堵塞,且堵塞机理更复杂,因此有必要对温室水肥滴灌系统的堵塞问题进行深入系统的研究。

本文通过研究温室水肥滴灌系统灌水器堵塞状况,评价灌水量及施肥量对灌水器堵塞的影响;通过对流道内堵塞物质的观察和检测,分析灌水器堵塞的原因及过程,为温室滴灌系统的运行管理提供科学建议。

1 材料与方法

1.1 滴灌系统布置

试验在西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院的日光温室内进行。滴灌系统由水泵、过滤装

收稿日期: 2014-01-04 修回日期: 2014-03-29

*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD29B00)、高等学校学科创新引智计划(111计划)资助项目(B12007)和水利部引进国际先进水利科学技术计划(948计划)资助项目(201436)

作者简介: 刘燕芳, 博士生, 主要从事节水灌溉新技术研究, E-mail: liuyanfang1988@126.com

通讯作者: 吴普特, 研究员, 博士生导师, 主要从事节水灌溉技术研究, E-mail: gizwpt@vip.sina.com

置、施肥装置、水表、压力表、控制阀门、支管和滴灌管等组成。其中滴灌管、过滤装置和施肥装置为杨凌秦川节水灌溉设备工程有限公司的产品。过滤装置采用 120 目网式过滤器, 每月清洗一次。如图 1 所示, 36 条圆柱形迷宫式滴灌管平铺于地表, 管间距 50 cm。每条滴灌管长约 7 m, 其上共有 21 个灌水器, 灌水器技术参数如表 1 所示。试验开始前, 对整个系统进行彻底冲洗, 试验期间不再冲洗管道系统。试验操作时发现 30 kPa 工作压力下滴灌效果较好, 因此本试验滴灌系统工作压力设定为 30 kPa。

表 1 灌水器技术参数

Tab. 1 Technical parameters of emitter

参数	工作压 力/kPa	流量 /(L·h ⁻¹)	流量偏差 系数/%	特征 方程	管外 径/mm	流道 宽/mm	流道 深/mm	流道 长/mm
圆柱迷宫式灌水器	30	1.75	1.53	$q = 0.9354h^{0.5718}$	16	0.80	1.00	144.00

注: 以上参数通过清水试验测量获得。

1.2 试验设计

本试验从 2012 年 8 月 23 日开始到 2013 年 1 月 10 日结束, 共 21 周。温室内种植番茄, 参照本地温室番茄种植方法制定灌水量和施肥量。根据本地区日光温室内番茄生育期需水量约为 200 ~ 280 mm, 设定 3 个番茄生育期需水量, 分别为 200、240 和 280 mm。通过计算得到相应的单条毛管的灌水量分别为 W_1 (0.72 m³)、 W_2 (0.83 m³) 和 W_3 (0.99 m³) 3 个水平, 为操作简便将灌水量平均分配于每周一次的灌水过程中。

施肥量设置 F_0 (不施肥)、 F_1 (255.0 kg/hm²)、 F_2 (382.5 kg/hm²) 和 F_3 (510.0 kg/hm²) 4 个水平。N、P、K 肥分别采用尿素、磷酸二铵和硝酸钾, 肥料

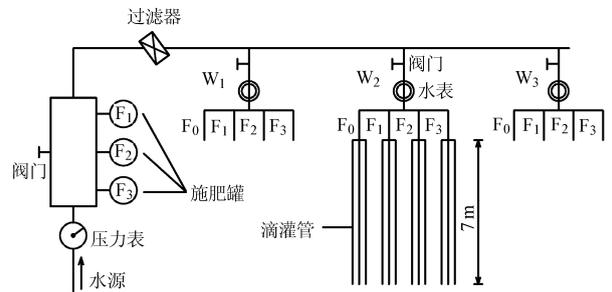


图 1 试验装置示意图

Fig. 1 Layout of experimental platforms

配比为 N:P:K = 1:1:1.25。整个试验期间肥料分 5 次施入, 依次为第 2 周 (番茄苗期)、第 3 周 (开花期)、第 5、9、13 周 (前 3 穗果实膨大期), 施肥量的比例为 1:1:2:2:2。施肥时将预定量的肥料溶解于施肥罐 (比例施肥泵) 内, 并随灌溉水施入。施肥结束后灌清水 30 min 用以冲洗管网^[1]。试验采用完全随机设计, 共 12 个处理, 每个处理 3 个重复。

灌溉用水为杨凌示范区居民自来水。陕西省地质局对该水质的检测结果如表 2 所示, 从表中各检测项目值可看出, 该水质符合我国农田灌溉用水水质标准, 其中 TDS、EC 和总硬度较高, 说明水中可溶性盐、Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 含量较高。试验期间温室内的平均、最高和最低温度分别为 24.6、42.1 和 10.6℃。

表 2 灌溉用水水质参数

Tab. 2 Quality of irrigation water

参数	COD /(mg·L ⁻¹)	pH 值	TDS /(mg·L ⁻¹)	TSS /(mg·L ⁻¹)	EC /(μS·cm ⁻¹)	Fe /(mg·L ⁻¹)	Mn /(mg·L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ /(mg·L ⁻¹)	硬度 /(mg·L ⁻¹)	细菌总数 /(cfu·mL ⁻¹)
数值	0.48	7.54	1090	0	1295	0.094	<0.05	284	520	0

注: COD 为化学需氧量; TDS 为溶解性固体总量; TSS 为总悬浮颗粒; EC 为电导率。

1.3 测定项目和方法

将运行 21 周的滴灌管取下并测定所有灌水器的流量。滴灌管进口压力设定为 30 kPa, 待系统运行 10 min 灌水器出流稳定后, 将量杯置于每个灌水器下方, 开始计时, 10 min 后取出量杯称量, 然后换算成灌水器流量。当相对流量 (拟评价灌水器流量与该灌水器额定流量之比) 小于 75% 时认为灌水器堵塞^[18], 堵塞的灌水器个数占同条件下灌水器总个数的百分比称为该条件下的堵塞率。

解剖堵塞的灌水器, 收集流道中的堵塞物质, 采

用场发射扫描电镜 (FESEM, S-4800 型, 日立, 2011) 观察堵塞物的表面形貌, 在不同观察倍数下连续拍照, 并对堵塞物质进行场发射扫描电镜能谱分析, 确定其元素组成。

2 结果与分析

2.1 灌水量和施肥量对灌水器平均流量和堵塞的影响

不同处理灌水器的平均流量如表 3 所示。灌水器平均流量变化可由灌水器堵塞引起, 也可由灌水

器流量的部分下降引起,因此表中同时给出了灌水器堵塞情况的统计。从表3中可看出,滴灌系统运行21周后,各处理灌水器平均流量有不同程度的下降,下降幅度在1.51%~14.16%之间。其中 W_1 、 W_2 、 W_3 条件下的灌水器平均流量分别下降至1.66、1.64和1.61 L/h,下降幅度分别为5.12%、6.00%和8.06%,可知灌水器平均流量随着灌水量的增大呈减小趋势;对比 W_1 、 W_2 和 W_3 条件下的堵塞率2.78%、3.17%和5.56%,可知堵塞率随着灌水量的增大而增大。这是因为灌水量越大,随水流带入滴灌系统的杂质越多,进而有越多的杂质在灌水器流道内附着、沉淀,造成灌水器堵塞和流量的减小。

表3 灌水器流量变化统计

Tab.3 Statistical data of discharge change of drip emitters

灌水 处理	施肥 处理	平均流量 (L·h ⁻¹)	流量 变幅/%	堵塞 个数/个	堵塞 率/%
W_1	F_0	1.72	1.51	0	0
	F_1	1.64	6.23	3	4.76
	F_2	1.67	4.55	1	1.59
	F_3	1.61	8.20	3	4.76
	平均/求和	1.66	5.12	7	2.78
W_2	F_0	1.72	1.53	0	0
	F_1	1.65	5.69	1	1.59
	F_2	1.62	7.31	3	4.76
	F_3	1.58	9.47	4	6.35
	平均/求和	1.64	6.00	8	3.17
W_3	F_0	1.71	2.30	0	0
	F_1	1.68	4.16	0	0
	F_2	1.50	14.16	8	12.70
	F_3	1.55	11.61	6	9.52
	平均/求和	1.61	8.06	14	5.56

如表3所示,在同一灌水量条件下,随着施肥量的增加,灌水器平均流量呈减小趋势,堵塞率呈增大趋势。滴灌系统在不施肥时(F_0),无论灌溉水量高低,试验期间均未出现灌水器堵塞现象。而在 F_1 、 F_2 和 F_3 施肥量下堵塞的灌水器个数总和分别为4、12和13个,可见在高施肥量条件下,灌水器堵塞较为严重。说明在滴灌系统运行过程中,施肥量越大,灌水器越容易发生堵塞,从而导致灌水器平均流量的减小。另外试验期间溶解磷酸二铵时出现了少量不溶微粒,尽管过滤器可过滤肥液中的大颗粒杂质,但是仍然存在过滤器无法滤除的微粒,这些微粒进入滴灌管道系统后无疑加大了灌水器堵塞的风险。

为确定灌水量和施肥量对灌水器堵塞的影响程度,利用SPSS软件对12个处理的数据进行方差分析,结果如表4所示。从表中可以看出,在0.05的显著性水平下,施肥量因素的 P 值为0.005,说明施

肥量对灌水器平均流量的影响达极显著水平,而灌水量因素的 P 值为0.301,未达到显著性影响水平,说明在本试验条件下,施肥量是影响灌水器流量的主要因素。施肥会增加灌水器堵塞的可能性,但灌水对灌水器起到一定的冲洗作用,因此灌水和施肥之间存在交互作用。但方差分析结果表明本试验中灌水量与施肥量交互作用的 P 值为0.504,说明其对灌水器流量的影响不显著。

表4 试验结果方差分析

Tab.4 Analysis of variance for total test data

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
灌水量	0.016	2	0.008	1.262	0.301
施肥量	0.109	3	0.036	5.567	0.005
灌水量×施肥量	0.036	6	0.006	0.910	0.504
误差	0.156	24	0.007		

2.2 堵塞物在灌水器流道内的分布特征

为进一步分析灌水器发生堵塞的原因,将发生堵塞的29个灌水器干燥后进行解剖观察,由于解剖过程中损坏3个灌水器,因此共获得26个灌水器的解剖资料。因解剖后发现不同处理组之间堵塞物质的分布规律并无明显差异,故对所有堵塞灌水器的堵塞物分布规律统一进行分析。将灌水器迷宫流道平均分成3段:流道前部、中部和尾部。流道末端至出水口这一部分称为过渡区。经统计后发现,堵塞物位于流道前部、中部、尾部和过渡区的灌水器的百分比分别为69.23%、7.69%、7.69%和15.38%,由此可见堵塞多发生于流道前部即进水口处,如图2所示。这与李久生、仵峰等的结论相同^[17,19]。水流从管道进入灌水器流道时,由于过水断面突然变小、流态发生突变等原因导致水中细微颗粒在此沉积。针对此种堵塞特征,孙宏等提出了在流道前部增加预沉腔来克服这一问题的设计理念,并做了初步探索,取得了良好的效果^[20]。

而吴显斌等^[21]对再生水灌溉后的灌水器堵塞状况进行分析后,发现灌水器堵塞多发生在过渡区和出口区,与本试验结果不同,但本试验中也出现了少量过渡区堵塞现象。观察本试验用灌水器,发现其过渡区设计不合理,过水断面较宽但流道深度较浅,因此区域水流速度低,冲刷能力下降,造成堵塞物质在此沉积。此外,2个灌水器流道末端出现堵塞物沉积(图2c),观察该灌水器流道后,发现流道末端与过渡区不是光滑连接。因此建议优化灌水器内部流道结构设计,避免过水断面最小尺寸过小,保证流道各部分的光滑连接,以提高灌水器抗堵性能。

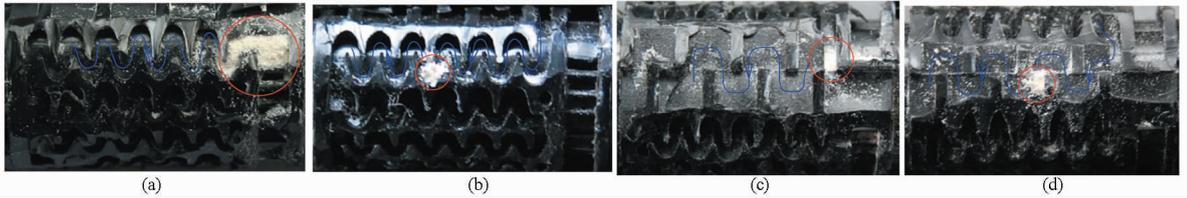


图 2 堵塞物分布图

Fig. 2 Distribution of emitter clogging material

(a) 渠道前部 (b) 渠道中部 (c) 渠道尾部 (d) 过渡区

2.3 灌水器流道内堵塞物分析

解剖灌水器后观察到流道内的堵塞物由丝状物、颗粒和白色粉末 3 种物质或其中 2 种构成。经场发射扫描电镜观察后确定丝状物为止水生料带。管道连接处暴露在管道内的止水生料带在水流的腐蚀和冲刷作用下带入滴灌管道系统内,由于灌水器流道断面狭窄而被拦截在流道内。颗粒状物质触感坚硬,电子显微镜观察后确定为沙粒,但其粒径过小(约 0.1 mm),过滤器无法将其滤除。

不同处理组使用的灌溉水和化肥种类、比例均相同,只是灌溉时间的长短有差异,故不同处理组之间堵塞物质的组成成分是一致的,只是堵塞

的程度有差异。因此试验中挑选了保存较为完整的堵塞物试样进行场发射扫描电镜观察,并对其中的白色粉末物质进行能谱分析。堵塞物中的白色粉末在不同观察倍数下的显示结果如图 3 所示。从图 3a 中可看出白色粉末是由直径约为 50 μm 的球状颗粒组成,大小较均匀且结构较疏松。图 3b 为其中一个球状颗粒的表面形貌,可以看出颗粒表面粗糙,结构复杂,孔隙发育,无定形物堆积其上。再将此表面放大至 20 000 倍时可清楚看到块状的类似晶体的物质(图 3c 中方框内)和大小不一聚集在一起的规则的球状物,直径约为 200 nm(图 3c 中圆圈内)。

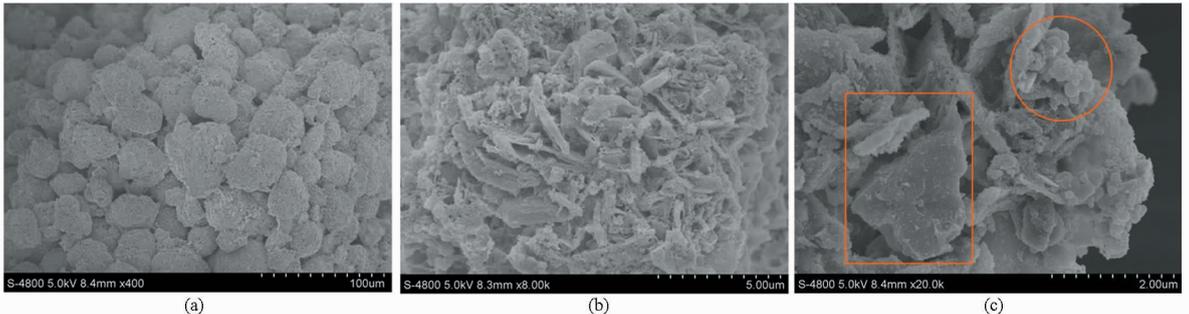


图 3 堵塞物 FESEM 观察

Fig. 3 FESEM micrographs of emitter clogging material

(a) 400 倍 (b) 8 000 倍 (c) 20 000 倍

表 5 为白色粉末物质进行场发射扫描电镜能谱分析后的结果。从表中可看出,3 个试样的成分含量基本一致,含量最多的元素有碳、氧、氟、磷、钙和镁等。考虑到本试验灌溉用水中含盐量较高,水质较硬,即水中 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 浓度较高(表 2),根据表 5 中元素含量可推测,通过滴灌系统施用磷肥时, PO_4^{3-} 与灌溉水中大量的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 发生化学反应生成了磷酸钙、磷酸镁沉淀,从而使得磷、氧、钙、镁

元素成为沉淀物的一部分。同时井水由地下抽至地表,压强变小,温度升高,导致碳酸钙、碳酸镁等沉淀析出,也使得碳、氧、钙、镁等元素存留。从表 2 中看到,灌溉用水的 pH 值为 7.45,这也会促进碳酸钙和碳酸镁沉淀的形成^[3-4,11]。另外,滴灌系统运行期间室内温度一直保持在较高水平,根据 Nakayama 等的研究,较高的温度会促进灌水器内碳酸钙沉淀的形成^[22]。

表 5 白色粉末成分及含量

Tab. 5 Composition and content of white powder

元素	C	O	F	P	Mg	Al	Ca	Si	Fe
试样 1	27.99	28.11	11.92	11.45	7.19	5.37	4.16	2.17	1.64
试样 2	24.77	29.09	12.38	12.31	7.36	5.37	4.96	1.81	1.95
试样 3	18.03	34.08	10.80	15.67	7.43	5.27	4.04	1.58	3.10

注:%为质量分数。

另外堵塞物中氟元素含量较高,这是因为白色粉末中含有生料带残渣,而生料带的化学成分为聚四氟乙烯,化学式为 $(C_2F_4)_n$,氟元素质量分数达61.29%。从表5中还可看到堵塞物成分中有少量的硅和铁元素,这是由于白色粉末中含有极少量的沙粒所致。

综合流道内堵塞物的分布特征和堵塞物成分,可推测流道堵塞过程如下:随灌溉水随机进入灌水器的生料带残渣或不溶微粒在进入流道后由于水流运动的突变而沉积在流道内,与流道边壁形成框架结构。此时沉积物结构非常疏松,但减小了流道过水断面面积,造成灌水器流量下降,该过程属于物理堵塞。灌水和施肥的同时,管道系统内生成多种化学沉淀,这些化学沉淀由于微粒表面电荷、分子力等作用或附着在边壁或相互碰撞、黏附聚集形成较大的絮凝体。当遇到如前所述的沉积物框架结构时,这些化学沉淀物或絮凝体黏附其上导致灌水器流量明显减小甚至完全堵塞。该过程既有化学沉淀形成又有固体杂质沉积,因此灌水器堵塞主要是物理堵塞和化学堵塞共同作用的结果。

针对以上灌水器堵塞的规律和原因,建议加强过滤以减少灌溉水中固体杂质进入管道系统;同时应优化灌水器流道结构设计,降低水中杂质在流道

沉积的几率;并定期进行酸液冲洗以减少化学沉淀物的形成和沉积;当灌溉水中 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量较高时,应对灌溉水进行预处理降低水中 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量后再施用磷肥。

3 结论

(1) 在灌溉水含盐量较高的条件下,日光温室水肥滴灌系统运行21周后,灌水器平均流量随着施肥量和灌水量的增加呈下降趋势,下降幅度在1.51%~14.16%之间。其中施肥量对灌水器流量的影响达到极显著水平($P < 0.01$)。

(2) 解剖堵塞的灌水器后发现,堵塞物位于流道前部、中部、尾部和过渡区的灌水器的百分比分别为69.23%、7.69%、7.69%和15.38%,说明堵塞多发生于流道前部即进水口处。因此建议在流道前部增加特殊结构设计以克服这一问题。

(3) 生料带残渣、微小沙粒和化学沉淀物(由钙、镁、碳、氧和磷元素等组成)是堵塞物质的主要成分。温室水肥滴灌条件下灌水器内既有物理堵塞过程又存在化学堵塞过程。建议加强过滤去除水中杂质,同时滴灌施肥时加强酸液冲洗以减少化学沉淀物沉积。当灌溉水水质较硬时,应避免使用滴灌系统施用磷肥或将灌溉水进行软化后再施用磷肥。

参 考 文 献

- 1 张志新. 滴灌工程规划设计原理与应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2007:178-183.
- 2 李久生,张建君,薛克宗. 滴灌施肥灌溉原理与应用[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2003:26-36,65-71.
- 3 Bucks D A, Nakayama F S. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance[J]. *Agricultural Water Management*, 1979, 2(2):149-162.
- 4 Nakayama F R, Bucks D A. Water quality in drip/trickle irrigation; a review [J]. *Irrigation Science*, 1991, 12(4):187-192.
- 5 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):98-106.
- 6 Li Yunkai, Song Peng, Zhou Bo. Microbiology mechanism and controlling methods for emitter clogging in the reclaimed water drip irrigation system[J]. *Transactions of the CSAE*, 2013, 29(15):98-106. (in Chinese)
- 7 Duran-Ros M, Puig-Bargues 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.
- 8 Li Yunkai, Liu Yaoze, Li Guibing, et al. The surface topographic characteristics of suspending sediment in two reclaimed wastewater and its effects on the clogging in labyrinth drip irrigation emitters[J]. *Irrigation Science*, 2010, 30(1):43-56.
- 9 Yan Dazhuang, Bai Zhihui, Mike Rowan, et al. Biofilm structure and its influence on clogging in drip irrigation emitters distributing reclaimed wastewater[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2009, 21(6):834-841.
- 10 Li Guibing, Li Yunkai, Xu Tingwu, et al. Effects of average velocity on the growth and surface topography of biofilms attached on the reclaimed wastewater drip irrigation system laterals[J]. *Irrigation Science*, 2012, 30(2):103-113.
- 11 Liu H J, Huang G H. Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent [J]. *Agricultural Water Management*, 2009, 96(5):745-756.
- 12 Hills D J, Nawar F M, Waller P M. Effects of chemical clogging on drip-tape irrigation uniformity [J]. *Transactions of the ASAE*, 1989, 32(4):1202-1206.
- 13 Pitts D J, Haman D Z, Smajstrla A G. Causes and prevention of emitter plugging in micro-irrigation systems [R]. Florida Cooperative Extension Service, University of Florida, 1990.
- 14 Boman B J, Parsons L R. Microsprinkler experiences in Florida citrus[J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 1999, 15(5):465-475.

- 14 Sagi G. Water quality and clogging of irrigation systems in Israel in 1989[J]. *Water and Irrigation Bull*, 1990, 280: 57 – 61.
- 15 Bozkurt S, Ozekici B. The Effects of fertigation management in the different type of in-line emitters on trickle irrigation system performance[J]. *Journal of Applied Sciences*, 2006, 6: 1165 – 1171.
- 16 De Kreij C, Van der Burg A M M, Runia W T. Drip irrigation emitter clogging in Dutch greenhouses as affected by methane and organic acids[J]. *Agricultural Water Management*, 2003, 60(2): 73 – 85.
- 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): 1272 – 1278.
Li Jiushen, Chen Lei, Li Yanfeng, et al. Field evaluation of emitter clogging in subsurface drip irrigation system[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2008, 39(10): 1272 – 1278. (in Chinese)
- 18 ISO/TC 23/SC 18/WG5 N4 Clogging test methods for emitters[S]. 2003.
- 19 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.
Wu Feng, Fan Yongshen, Li Hui, et al. Clogging of emitter in subsurface drip irrigation system[J]. *Transactions of the CSAE*, 2004, 20(1): 80 – 83. (in Chinese)
- 20 孙宏, 史玉生, 董文楚, 等. 预沉组合式灌水器堵塞预测与验证[J]. *节水灌溉*, 2008(2): 1 – 4.
Sun Hong, Shi Yusheng, Dong Wenchu, et al. Clog forecast and experiment validation of drip emitters [J]. *Water Saving Irrigation*, 2008(2): 1 – 4. (in Chinese)
- 21 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*, 2008, 24(5): 61 – 64.
Wu Xianbin, Wu Wenyong, Liu Honglu, et al. Experimental study on anti-clogging performance of emitters for reclaimed wastewater irrigation[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(5): 61 – 64. (in Chinese)
- 22 Nakayama F R, Bucks D A. Temperature effect on calcium carbonate precipitate clogging of trickle emitters[C] // *Proceedings of the Third International Drip/Trickle Irrigation Congress*, 1985: 45 – 49.

Clogging of Labyrinth Emitters in Greenhouse Fertigation

Liu Yanfang¹ Wu Pute^{1,2} Zhu Delan¹ Zhang Yan¹

(1. *College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China*

2. *Institute of Water-saving Agriculture in Arid Areas of China, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China*)

Abstract: Emitter clogging caused by simultaneous irrigation and fertilization (fertigation) has negative influence on the normal operation of drip irrigation systems. This study was carried out to determine the effects of fertigation amount and irrigation amount on labyrinth emitter clogging. Additionally, sediments in the labyrinth passage were analyzed by field emission scanning electron microscope (FESEM) to determine their composition. Results indicated that average discharge of the emitters decreased between 1.51% and 14.16% with the increase of the irrigation or fertigation amount after operating the drip irrigation system for 21 weeks. Statistical analysis showed that fertigation amount significantly affected emitter average discharge ($P < 0.01$). Dissection of the clogged emitters revealed that the sediments located in the front labyrinth passage comprised primarily of sealing tape, insoluble fertilizer particles, and white powdery chemical precipitation. The chemical precipitation was found to be constituted of carbon, oxygen, phosphorus, calcium, magnesium, and other minerals. Consequently, emitter clogging was mainly caused by the combined effect of physical and chemical clogging.

Key words: Greenhouse drip irrigation Fertigation Chemical clogging Sediment composition