

# 低压灌溉滴头流量及毛管铺设对玉米生长及产量的影响

寇宝峰<sup>1</sup>, 丁林<sup>2</sup>

(1. 秦安县水务局, 甘肃 秦安 741600; 2. 甘肃省水利科学研究院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 研究了毛管不同铺设方式下, 滴头流量对田间灌水均匀度、玉米出苗率、产量、水分利用效率、经济效益等指标的影响。结果表明, 滴头流量越小, 灌水均匀度越好, 作物出苗率越高, 水分利用效率相对较高, 对作物生长及产量形成有积极作用。一膜两管(滴灌带间距 60 cm)较一膜三管(滴灌带间距 40 cm)可节约滴灌带材料 30%以上。低压滴灌在适当滴头流量(2.0 L/h)及毛管铺设模式(毛管间距 60 cm)下不仅能提高产量, 而且净收入也明显提高。

**关键词:** 低压滴灌; 滴头流量; 毛管铺设; 产量; 效益; 玉米

**中图分类号:** S275.3; S513 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2020)06-0029-05

[doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2020.06.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2020.06.008)

## Effects of Drop Flow Rate and Capillary Laying on Growth and Yield of Corn Under Low Pressure Irrigation

KOU Baofeng<sup>1</sup>, DING Lin<sup>2</sup>

(1. Water Bureau of Qin'an County, Qin'an Gansu 741600, China; 2. Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou Gansu 730000, China)

**Abstract:** The effects of different drip head flows on the uniformity of field irrigation water, maize seedling emergence rate, yield, water use efficiency and economic benefits were analyzed. The results showed that the smaller the drip flow, the better the uniformity of irrigation, the higher the seedling emergence rate, the higher the water use efficiency, and the positive effect on crop growth and yield formation. One film and two tubes (with 60 cm spacing between drip irrigation belts) can save more than 30% of materials of drip irrigation belts compared with three tubes (with 40 cm spacing between drip irrigation belts). Low pressure drip irrigation can not only improve the yield, but also increase the net income under appropriate drip head flow (2.0 L/h) and capillary laying mode (capillary spacing 60 cm).

**Key words:** Low pressure drip irrigation; Dropper flow; Capillary laying; Yield; Benefit; Corn

滴灌技术已成为节水效果最好的一种灌水方法, 并被诸多国家广泛借鉴和大量推广应用<sup>[1-2]</sup>。国内外学者研究表明, 滴灌系统工作压力是影响滴灌工程投资与运行费用最

为关键的因素<sup>[3-4]</sup>。针对上述问题, 有研究者开始寻找更加节能的滴灌技术, 在此基础上提出了低压灌溉技术, 初步研究出了低压灌溉系统的概念与理论。其中冯素珍<sup>[5]</sup>对低

收稿日期: 2020-02-28

基金项目: 甘肃省水利科研与推广计划项目。

作者简介: 寇宝峰(1969—), 男, 甘肃天水人, 高级工程师, 主要从事水利工程规划设计与施工工作。Email: 1076157345qq.com。

通信作者: 丁林(1978—), 男, 甘肃武威人, 高级工程师, 主要从事节水灌溉及水资源高效利用研究工作。Email: gsskyd@sohu.com。

压滴灌系统进行了评估,分析了系统的可行性;王伟等<sup>[6]</sup>在对原有的常规滴灌系统研究的基础上,提出了一种低压滴灌系统,这套低压滴灌系统与常规滴灌系统相比,投资小,应用方便;牛文全等<sup>[4]</sup>提出了低压滴灌系统灌水器进口水压的区间,并认为低压滴灌系统是一种经济、节能的灌溉方式,可以提高水的利用效率;马晓鹏等<sup>[7]</sup>研究了低压条件下滴灌带的水力特性,比较全面的测试了国内比较常用的几种滴灌带结构参数、流量等。另外,杜立鹏<sup>[8]</sup>研究了低压滴灌系统对玉米产量及水分利用效率的影响;杨国江<sup>[9]</sup>在大田对低压滴灌系统进行了试验研究,分析了系统低压运行的合理性。张林<sup>[10]</sup>通过盆栽线辣椒试验,得出小流量滴灌能提高线辣椒的叶绿素含量,促进光合作用,增加坐果数并能提高其产量和水分利用效率。王环波<sup>[11]</sup>通过低压小流量滴灌和传统滴灌系统在大田种植加工番茄对比试验,得出低压小流量滴灌系统压力小、省工、能耗低、提高了灌水均匀度。我们针对低压滴灌的特点以及现有的研究成果,在低压条件下,研究了不同滴头流量及毛管铺设模式对玉米生长及产量的影响,以期为低压滴灌技术发展提供技术支撑。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于 2016 年 4 月至 2017 年 9 月在甘肃省水利科学研究院民勤灌溉试验站进行。试验区地处民勤绿洲和腾格里沙漠交界地带,属典型的大陆性荒漠气候,光热资源丰富, $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温 3 550  $^{\circ}\text{C}$ , $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温 3 145  $^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水 110 mm,年平均蒸发量 2 644 mm。试验区土质 0~60 cm 为粘壤土,60 cm 以下逐渐由粘壤土变为砂壤土,土壤平均容重为 1.54 g/cm<sup>3</sup>。pH 7.96、全盐 1.872 g/kg,灌溉水矿化度 0.91 g/L。灌溉水源为地下水,有机井 1 眼,配套有砂石及碟片过滤

器,灌溉水过滤后符合滴灌水质要求。

### 1.2 供试材料

指示玉米品种为先玉 335。试验灌溉材料选用直径 16 mm,壁厚 0.8 mm 的毛管,采用压力补偿式滴头,间距 40 cm。根据已有研究成果采用水头压力为 3.0 m,用试验区高位水箱严格控制水位。

### 1.3 试验设计

试验为 3 因素设计,滴头流量设 3 个水平,即 2、4、6 L/h;毛管铺设方式设 2 个水平,即一膜三管、一膜二管;毛管铺设间距设 2 个水平,即 40、60 cm。试验方案见表 1。每个处理 3 次重复,共 18 个试验小区。试验在测坑中进行,测坑长 2.0 m、宽 1.5 m、深 2.0 m,坑内土质均匀。玉米于每年 4 月 20 日播种,行距 40 cm,株距 25 cm,播深 5 cm,每穴播 1~2 粒。各处理在整个生育期内的灌水量、灌水次数、灌溉时间及施肥量、施肥时间均相同。

表 1 低压滴灌试验设计方案

处 理	滴头流量 /L/h	毛管铺设 方式	毛管铺设 间距 /cm	设计水头 压力 /m
T1	2.0	一膜三管	40	3.0
T2	2.0	一膜二管	60	3.0
T3	4.0	二膜三管	40	3.0
T4	4.0	一膜二管	60	3.0
T5	6.0	一膜三管	40	3.0
T6	6.0	一膜二管	60	3.0

### 1.4 主要测定项目及方法

1.4.1 土壤含水率 采用 HD2 土壤水分速测仪结合烘干法(土钻取土)测定并计算含水率。深度为 0~100 cm 土层中每 20 cm 测定 1 层,整个生育期每隔 10 d 测定 1 次,降水及灌水前后进行加测。每个处理分别在滴灌管附近及两条滴灌管中间埋设 2 根测管,测管埋深 100 cm。

1.4.2 灌水均匀度 每次灌水后,以滴头为中心,分纵横向每隔 10 cm 取土测定含水

量, 横向按 50 cm、纵向按 60 cm 取土测定含水率, 采用克里斯琴森均匀度系数(Cu)公式计算。

1.4.3 灌水量 采用管道输水灌溉, 每个试验小区均有单独水表控制, 灌水量由水表量测。

1.4.4 生长指标 作物光合作用产物的最佳表现形式是作物植株生长和干物质积累, 选择玉米抽穗期(生长旺盛期 7 月中旬)的生长指标开展研究, 在一定程度上可代表各处理对作物产量形成的影响。

1.4.5 籽粒产量 收获期在每个小区中随机选取 2 点, 每点取样 5 株, 将 2 个点的样品合成 1 个样, 进行考种, 按小区单收, 计算各小区籽粒产量。

1.4.6 生物产量 作物收获时, 贴地面割取地上部分, 自然晾干后按小区计算地上部分生物产量。

1.4.7 种植效益 记录各处理种子、化肥、滴灌带、农药、地膜、机械、劳务、水费、作物收购价等数据, 计算作物投入与产出。

1.4.8 气象资料 通过 TRM-ZS3 全自动气象站(锦州阳光气象科技有限公司)观测记载降水等气象因素。

## 1.5 数据分析及处理方法

用 Excel2007 进行数据处理和制图, 用 DPS(v6.05)统计软件做相关分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 灌水均匀度与出苗率

从表 2 可以看出, 各处理灌水均匀度差异较大, 处理 T1 最大, 达 89.7%; 处理 T6 最小, 仅为 71.3%, 二者相差 18.4 百分点, 其中处理 T1、处理 T2 与处理 T5、处理 T6 有显著差异, 与处理 T3、处理 T4 差异不显著; 处理 T3、T4、T5、T6 之间差异不显著。总体来说滴头流量较低、毛管间距较小时, 灌水均匀度较好; 滴头流量较大时, 在相同灌水定额下灌水持续时间较短, 水分纵向入

渗较快, 而横向扩散距离不够, 导致均匀度不高。灌水均匀程度对玉米出苗有一定影响, 各处理间差异不显著。其中, 灌水均匀度最高的处理 T1 出苗率达 90.5%, 而均匀度最低的处理 T6 出苗率只有 80.9%, 出苗率不高会直接影响玉米产量。

表 2 不同处理的灌水均匀度及玉米出苗率<sup>①</sup>

处理	灌水均匀度 /%	出苗率 /%
T1	89.7aA	90.5aA
T2	87.6aAB	89.7aA
T3	82.6abAB	86.1aA
T4	81.7abAB	84.9aA
T5	74.2bAB	81.5aA
T6	71.3bB	80.9aA

①表中数据均为 2 a 平均值, 下表同。

### 2.2 玉米生长指标

从表 3 可以看出, 在相同滴头流量下, 一膜三管玉米的株高、茎粗、叶面积指数、干物质积累量均高于一膜二管处理, 处理 T1 株高较处理 T5、处理 T6 分别高 17.5、21.3 cm; 处理 T2 株高较处理 T5、处理 T6 分别高 16.1、19.8 cm, 但各处理株高、茎粗、叶面积指数间无明显差异。在滴头流量为 2.0 L/h 时玉米的生长指标及干物质积累量均处于较高值, 其中处理 T1、处理 T2 干物质积累量与其他处理有极显著差异, 干物质积累量处理 T1 较处理 T5、处理 T6 分别高 470.1、479.2 g/m<sup>2</sup>, 处理 T2 较处理 T5、处理 T6 分别高 466.0、475.1 g/m<sup>2</sup>。虽然各处理灌水定额相同, 但不同滴头流量和毛管铺设对灌溉水的入渗、扩散影响较大, 进而影

表 3 不同处理玉米抽穗期生长指标

处理	株高 /cm	茎粗 /cm	叶面积 指数	干物质积累 /(g/m <sup>2</sup> )
T1	266.5aA	3.59aA	5.64aA	1 658.6aA
T2	265.1aA	3.57aA	5.62aA	1 654.5aA
T3	254.5aA	3.55aA	5.61aA	1 356.9bB
T4	251.7aA	3.53aA	5.60aA	1 346.7bB
T5	249.0aA	3.52aA	5.56aA	1 188.5cB
T6	245.2aA	3.44aA	5.55aA	1 179.4cB

响到了水分利用效率,致使作物生长指标出现差异。

### 2.3 玉米籽粒产量及水分利用效率

从表 4 可知,由于各处理灌水定额相同,其耗水量无明显差异,比较不同处理产量可得,滴头流量较小时产量较高,其中处理 T1、处理 T2 产量分别为 13 981.5、13 908.0 kg/hm<sup>2</sup>,而滴头流量最大的处理 T5、处理 T6 产量较低,较处理 T1 处理、处理 T2 分别减少 893.5、820.0 kg/hm<sup>2</sup> 和 913.0、839.5 kg/hm<sup>2</sup>。生物产量以处理 T1 最大,为 33 408.0 kg/hm<sup>2</sup>;处理 T2 次之,为 32 749.0 kg/hm<sup>2</sup>;处理 T6 最小,为 27 482.0 kg/hm<sup>2</sup>;且处理 T1、处理 T2 与处理 T5 有显著差异,与处理 T6 有极显著差异。就农田水分利用效率来说,各处理均在 30.0 [kg/(hm<sup>2</sup>·mm)]左右,相对处于较高值。同时可以看出玉米产量与灌水均匀度有很大关系,水分纵向、横向扩散入渗越均匀,水分利用效率越高,作物产量就越高,尤其对一膜两管处理较为明显,因为在这一类处理中,部分处理水分横向扩散湿润锋未衔接到一起,两管中间一行玉米总是处于缺水状态,影响了正常生长,造成产量降低。

### 2.4 玉米收获指数

收获指数的大小可以反映在整个灌浆期和成熟期干物质在籽粒和茎叶中的分配情况,不同处理经济产量与生物产量之间的比例关系,反映出光合有机物质的分配效率。

由表 5 可知,各处理的收获指数以处理 T6 最大,为 47.56%,其他处理由大到小依次为处理 T5、处理 T4、处理 T3、处理 T2、处理 T1,最大收获指数和最小收获指数相差 5.71 百分点。虽然处理 T6 的收获指数最高,但其产量却最低,说明玉米植株生长弱小,茎干较细,叶片较小,这在一定程度上减少了光合产物的形成,从而使玉米产量降低。处理 T1 的收获指数较小,但其籽粒产量和生物量却最高,主要是由于灌水均匀度较高使玉米在生育期生长旺盛,光合产物较多,在增加产量的同时,其光合副产品也大幅度增加。

### 2.5 玉米经济效益

通过试验并根据该灌区现状结合当地市场调查,对研究作物生产成本进行了估算。其中投入包括劳力、机械、滴灌带、化肥、地膜、种子、农药、水电费等;产出包括籽粒、秸秆等。在投入方面,各处理差异表现在滴灌带投入,而滴灌带铺设间距决定着投入大小。由表 5 可知,一膜三管处理较一膜两管处理多投入滴灌带 1/3,合计多投入 1 200 元 /hm<sup>2</sup>。在相同滴头流量下,一膜两管净效益均处于较高值,其中处理 T2 比处理 T1 高 1 075.0 元 /hm<sup>2</sup>,处理 T4 比 T3 处理高 1 085.3 元 /hm<sup>2</sup>,处理 T6 比处理 T5 高 1 166.8 元 /hm<sup>2</sup>,且处理 T2、处理 T4 与处理 T6 有显著差异。就不同滴头流量来说,滴头流量越小,均匀度越高,产量也越高,如

表 4 不同处理玉米籽粒产量、水分利用效率及收获指数

处理	灌水量 /mm	有效降水 /mm	耗水量 /mm	籽粒产量 /(kg/hm <sup>2</sup> )	生物产量 /(kg/hm <sup>2</sup> )	水分利用效率 /[kg/(hm <sup>2</sup> ·mm)]	收获指数 /%
T1	360	70	463.1	13 981.5aA	33 408.0aA	30.2	41.85
T2	360	70	466.9	13 908.0aA	32 749.0aAB	29.8	42.47
T3	360	70	473.1	13 884.0aA	31 946.0abAB	29.3	43.46
T4	360	70	469.3	13 846.5aA	31 534.0abAB	29.4	43.91
T5	360	70	467.7	13 088.0aA	29 265.0bcBC	29.5	44.72
T6	360	70	462.7	13 068.5aA	27 482.0cC	29.3	47.56

在相同毛管铺设模式下净产值处理 T2>处理 T4>处理 T6, 处理 T1>处理 T3>处理 T5。可见, 低压滴灌在适当滴头流量及毛管铺设模式下不仅能提高产量, 而且净收入也明显提高。

表 5 不同处理玉米经济效益分析

处理	投入 <sup>①</sup> /(元/hm <sup>2</sup> )	产出 <sup>②</sup> /(元/hm <sup>2</sup> )	净效益 /(元/hm <sup>2</sup> )	投产比
T1	7 950	23 768.6aA	15 818.6abA	1:2.99
T2	6 750	23 643.6aA	16 893.6aA	1:3.50
T3	7 950	23 602.8aA	15 652.8abA	1:2.97
T4	6 750	23 488.1aA	16 738.1aA	1:3.48
T5	7 950	22 249.6aA	14 299.6abA	1:2.80
T6	6 750	22 216.4aA	15 466.4bA	1:3.29

①投入包括劳力 1 200 元/hm<sup>2</sup>, 机械 750 元/hm<sup>2</sup>, 滴灌带 3 600 元/hm<sup>2</sup>, 化肥 900 元/hm<sup>2</sup>, 地膜农药 450 元/hm<sup>2</sup>, 种子 450 元/hm<sup>2</sup>, 水电费 600 元/hm<sup>2</sup>;

②产出主要为籽粒产出, 单价为 1.7 元/kg。

### 3 结论与讨论

低压滴灌技术是未来节水灌溉的一个发展方向。我们结合低压滴灌的特点, 在不同滴头流量及毛管铺设模式下研究了低压滴灌对玉米田间灌水均匀度、出苗率、产量及水分利用效率、经济效益等指标, 结果表明, 滴头流量越小, 灌水均匀度越好, 作物出苗率越高, 水分利用效率相对较高, 对作物生长及产量形成有积极作用。“一膜两管”(滴灌带间距 60 cm)较“一膜三管”(滴灌带间距 40 cm)可节约滴灌带材料 30%以上。田间投入相应减少 1 200 元/hm<sup>2</sup>, 降低了生产成本, 其净效益均较高, 若配合适宜的滴头流量, 可取得较高的经济效益。同时一膜两管条件下水分纵向入渗较深, 作物根系也较深, 抗风能力较强, 不容易倒伏。因此, 低压滴灌在适当滴头流量 (2.0 L/h) 及毛管铺设模式 (毛管间距 60 cm) 下不仅能提高产量, 而且净收入也明显提高。在实际应用中应考虑作物种植区水资源状况、土壤和气候特点,

选择适当的毛管铺设模式及滴头流量, 若结合农艺、耕作等措施就可达到节水、增产、增收的目的。

本研究是在特定土壤条件下完成的, 所以试验得出的结论有一定的局限性, 上述低压滴灌技术条件对作物种植情况下的水分运移及灌水均匀度参数还需进一步研究。受土壤质地和作物品种等因素影响, 应该开展不同地区不同作物的低压滴灌大田试验研究, 为低压滴灌技术推广应用提供科学依据。

### 参考文献:

- [1] 李 锋, 刘晓彤, 罗健航, 等. 枸杞精准滴灌效益及土壤水分动态变化对比[J]. 甘肃农业科技, 2019(10): 15-18.
- [2] 何晟国, 何增国, 郭天云. 河西地区玉米双垄沟播膜下滴灌栽培技术[J]. 甘肃农业科技, 2012(10): 46-47.
- [3] 牛文全. 微压滴灌技术理论与系统研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006: 1-40.
- [4] 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.
- [5] 冯素珍. 低水头滴灌系统的研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 1999(4): 110-113.
- [6] 王 伟, 李光永, 段中琐. 低水头滴灌系统研究[J]. 节水灌溉, 2000(3): 36-39.
- [7] 马晓鹏, 龚时宏, 王建东, 等. 董雁飞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: 29(4): 6-10.
- [8] 杜立鹏. 玉米低压滴灌系统研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014: 1-49.
- [9] 杨国江. 低压滴灌系统大田试验与研究[J]. 农业科技与信息, 2007(6): 43.
- [10] 张 林, 范兴科, 吴普特, 等. 小流量微压滴灌条件下作物生长试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(2): 65-68.
- [11] 王环波, 于静静. 低压小流量滴灌系统与传统滴灌系统对比试验分析[J]. 甘肃水利水电技术, 2014, 50(2): 40-41.

(本文责编: 杨 杰)