

# 滴灌条件下玉米的产量和 WUE 效应研究

张晓伟 黄占斌 李秧秧 范新科

(中国科学院水土保持研究所 陕西杨陵 712100)  
(水利部)

**摘要** 通过对滴灌条件下玉米产量和 WUE 效应的研究,认为在半干旱区玉米上实施滴灌,较畦灌显著节约了水资源,提高了水分利用效率,促进了玉米生长发育,增加了产量。而且在低灌溉量下,较畦灌更稳产,因而对半干旱地区玉米补充灌溉具有十分重要的意义。

**关键词** 滴灌 玉米 产量 水分利用率

## Study on Yield and WUE of Corn Under Drip Irrigation

Zhang Xiaowei Huang Zhanbin Li Yangyang Fan Xinke

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences  
and Ministry of Water Resources YangLing ShaanXi 712100)

**Abstract** The effect of drip irrigation on yield and WUE of corn were studied under field condition. Results indicated that application of drip irrigation in semi-arid corn-planting area could not only save water resources, raise WUE, improve growth and development of corn and increase yield but also stabilize yield under low irrigation amount. Therefore, it had very important meaning for supply irrigation of corn in semi-arid regions.

**Key words** drip irrigation corn yield WUE

我国水资源短缺,特别在广大的北方地区,人均占有水资源量仅为  $936 \text{ m}^3$ , 每公顷平均占有水资源量为  $6810 \text{ m}^3$ 。水分短缺严重限制了农业生产的提高,因此有限水资源高效利用的研究无疑具有重要的现实意义。Vandersander (1986) 对高粱的研究结果表明:当高粱授粉期灌水量从  $101 \text{ mm}$  减少到  $38 \text{ mm}$  即灌水量减少 62% 时,其产量仅下降了 8.7% ~ 23.5%,水分利用效率则提高 1 倍左右<sup>[2]</sup>,在少量供水条件下,采用何种供水方式则是一个尚需研究的问题。

滴灌是一种节水效果非常显著的供水方式,在工业较发达或是水资源短缺的国家如以色列发展很快,我国目前主要应用于果园、大棚蔬菜中,对大田作物的应用还处于研究阶段。我们采用大田试验,以玉米为对象,研究了两种滴灌方式对玉米产量、水分利用效率和水分运动规律的影响,以期为大田玉米合理滴灌技术的应用提供依据。

# 1 试验设计

本试验以渭北旱塬主要秋粮作物玉米( 陕单 9 号) 为研究材料, 于 1997 年 6 ~ 9 月在富平东新二队水浇地上进行。试验年玉米生育期降水 192. 2 mm, 为历年平均值的 60. 8%, 蒸发量为 1 225. 6 mm, 为历年平均值的 1. 67 倍。

试验区夏玉米生育期为 105 d 左右, 多年平均各生育期持续时间、降水及蒸腾蒸发量见表 1。根据表 1 可得出除玉米苗期要求较好的底墒外, 玉米生育期两次降雨低谷在 7 月中旬和 8 月上旬, 该时期正值玉米的旺盛生长时期, 其一在玉米拔节期( 20/ 7), 此期为玉米需水临界期; 另一在玉米的抽雄期( 10/ 8), 为此灌溉时期确定在 7 月 20 日左右, 可起到承上启下的作用, 根据公式  $W_i = P_i - ET_i$  ( $P_i$  某一生育期降水,  $ET_i$  某一生育期蒸腾蒸发量) 可计算出拔节期至抽雄期这一生育阶段玉米实际水分亏缺量为  $750\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

表 1 富平县夏玉米生育期内历年降水及蒸腾蒸发量

	6 月			7 月			8 月			9 月			10 月	
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中
降水量/mm	13. 5	15. 2	21. 0	34. 5	22. 9	34. 8	18. 1	32. 1	31. 8	39. 4	25. 5	28. 2	21. 1	25. 1
蒸腾蒸发量/ mm · d <sup>-1</sup>	7. 52	7. 28	6. 84	5. 82	6. 34	6. 52	6. 28	5. 89	5. 24	4. 09	3. 96	3. 49	3. 15	3. 40
作物 生育期	播 种 期		出 苗 期		拔 节 期		抽 雄 期		成 熟 期		收 获 期			

采用小区试验, 小区面积  $20. 16\text{ m}^2$ , 设灌水量和灌水方式二因素, 水平见表 2, 共 13 个处理, 随机排列, 重复 3 次。

表 2 试验处理设置

处理代号	13	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
灌溉量/ $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$	0	150	300	450	75	150	300	450	600	300	600	900	1200
灌水期		拔 节 期				拔 节 期					拔 节 期		
灌水方式		膜下滴灌				露地滴灌					畦 灌		

播前、收后, 灌水前、后打钻用烘干法测定 1 m 土壤含水量, 抽雄期测单株鲜、干重, 叶面积系数采用长×宽, 并按 0. 70 折算, 考种计产同一般大田试验。

# 2 结果分析

## 2. 1 不同灌溉量下玉米叶面积、干物质积累变化

不同灌溉量下玉米的叶面积不论是膜下滴灌, 还是露地滴灌均比畦灌略微偏低, 植株高度也有一定程度的降低( 见表 3); 表明滴灌可使玉米的株形紧凑, 有利于降低养分及水分的无效消耗。由于膜下滴灌的灌水量仅为畦灌的 1/4 ~ 1/3( 以  $300\text{ m}^3/\text{hm}^2$  为例), 而叶面积和单株干重分别是其 89. 4% ~ 92. 6%、57. 1% ~ 72. 9%, 因此可以认为滴灌有明显的节水效果。同样滴灌单株干重均小于畦灌, 表明随拔节期灌水量的增加, 植株的干物质积累随之增加。

## 2. 2 不同灌溉方式下玉米的产量及产量构成因素分析

从不同灌溉方式的灌溉量来看( 见表 4), 不论是膜下滴灌还是露地滴灌对玉米穗行数的贡献不大, 滴灌的主要作用在于增加了玉米的穗长和穗粒数, 等灌溉量下膜下滴灌较露地滴灌产量

高 18.2% ~ 31.2% ; 露地滴灌较畦灌产量高 37.6% ~ 42.4%。再从产量构成的主要因素行粒数、百粒重综合分析可以发现滴灌均与倍灌溉量的畦灌基本相当,其灌溉效益增加了 1 倍。

表 3 不同灌溉量玉米叶面积指数、干物质积累

灌溉方式 灌溉量/ $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$	膜下滴灌		露地滴灌		畦 灌	
	300	450	450	600	900	1200
叶面积指数	1.77	1.81	1.79	1.89	1.91	1.98
单株干重/g	81.0	112.7	86.3	94.8	111.1	142.0

注:测定时期为抽雄期。

表 4 不同灌溉量下的主要产量构成

灌溉方式 灌溉量/ $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$	膜下滴灌				露地滴灌				畦 灌			
	0	150	300	450	150	300	450	600	300	600	900	1200
行数/行	12.1	12.4	12.4	12.8	12.3	12.4	13.1	13.1	12.4	12.5	12.8	13.0
穗粒/个	29.3	32.4	35.7	39.3	30.3	33.6	38.2	38.4	28.0	32.4	34.4	35.9
穗长/cm	14.7	15.8	17.9	18.7	15.3	16.6	18.8	19.3	14.3	17.5	19.3	19.4
百粒重/g	22.0	22.7	24.4	25.6	23.2	24.2	25.6	25.9	23.0	24.7	26.0	26.7
产量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	1992.0	2479.5	3322.5	4167.0	2097.0	2541.0	3175.5	3918.0	1846.5	2749.5	3358.5	4392.0

本试验由于各处理的灌溉量未超过玉米的最适供水量,因此籽粒产量与灌溉量是直线相关(图 1)。

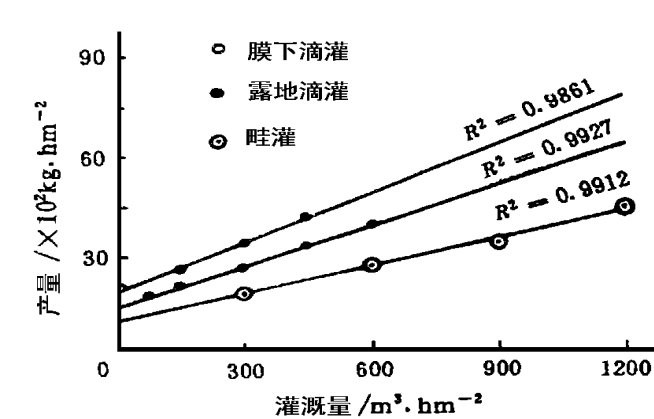


图 1 不同灌溉方式灌溉量与产量的关系

从图中可以看出,籽粒产量随灌溉量呈线性增长。膜下滴灌较露地滴灌产量高,而露地滴灌较畦灌产量高,在低灌溉量下(灌溉量 $< 600 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ),滴灌是获得产量的必要措施,尤其是膜下滴灌。因为畦灌在此灌溉量下几乎不可能实施。以 $300 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 为例,膜下滴灌较畦灌增产 79.93%,覆膜不灌较畦灌增产 7.87%,露地滴灌较畦灌增产 37.61%。在高灌溉量下(灌溉量 $> 600 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ),滴灌的增产作用更加显著,尤其是膜下滴灌,但此灌溉量对滴灌来说,实施较为困难,分阶段滴灌才是较

好的措施。单就增产作用以 $900 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 为例:露地滴灌较畦灌增产 42.65%;膜下滴灌较畦灌增产 81.36%。综上所述,滴灌在节水增产方面的作用是显著的,但其产量获得需要因地制宜。

2.3 不同灌溉方式的水分效应

作物耗水量小于作物需水量时,产量随耗水量增加而增加,本试验结果也正是这种正比例增加关系(见表 5)。值得注意的是:膜下滴灌 $450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 较畦灌 $900 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $1200 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的产量差异为: - 5.1% ~ 18.9%。而耗水量减少 11.87% ~ 18.2%。露地滴灌 $600 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 较畦灌 $900 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $1200 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的产量差异分别为: - 10.7% ~ 16.7%,而耗水量减少 6.9% ~ 13.6%。从水分生产效率来看:滴灌提高了玉米的水分生产效率,膜下滴灌 $450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,较畦灌 $900 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $1200 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的水分生产效率分别增加 32.5%、9.2%;露地滴灌 $600 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 较畦灌 $900$

$\text{m}^3/\text{hm}^2$ 、 $1\,200\,\text{m}^3/\text{hm}^2$  的水分生产效率分别增加 25.3%、3.2%。从作物产量对水分亏缺的反映系数看: 不论是膜下滴灌还是露地滴灌均小于畦灌, 尤其是膜下滴灌, 说明畦灌对水分的亏缺反映较滴灌敏感, 即相同的水分亏缺率, 畦灌的减产幅度大于滴灌。可见滴灌不仅节水, 而且在低灌溉量下生产更安全。

表 5 不同灌溉方式的 WUE 及水分亏缺反映系数

灌溉方式	膜下滴灌				露地滴灌			畦 灌		
	0	150	300	450	300	450	600	600	900	1200
灌溉量/ $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$										
实际耗水量/mm	4824.0	5104.5	5232.0	5559.0	5281.5	5337.0	5524.5	5775.0	5937.0	6394.5
WUE/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$	6.195	7.290	9.525	11.250	7.215	8.925	0.635	7.140	8.490	10.305
$K_y$	1.90	1.85	1.41	1.1	1.97	1.62	1.27	2.42	2.14	1.80

注:  $K_y = \frac{1 - Y_a/Y_m}{1 - ET_a/ET_m}$  为联合国粮农组织提出的, 其中  $Y_a$  实际产量,  $Y_m$  最大潜力产量;  $ET_a$  实际耗水量,  $ET_m$  最大耗水量。  
 $K_y$  水分亏缺反映系数。物理意义为单位水分亏缺率所引起的产量减低率, 其值越大, 说明产量对水分亏缺的反应越大, 反之亦然。 $Y_m$ 、 $ET_m$  引用李玉山等<sup>[6]</sup>试验结果, 分别为:  $5\,985\,\text{kg}/\text{hm}^2$ ,  $7\,365\,\text{mm}$ 。

2.4 不同滴灌量下的土壤湿润半径及水分入渗深度

土壤湿润半径的大小直接影响着玉米根系的吸水效率, 玉米的行距为 60 cm, 玉米拔节期根系横向半径多数为 10~15 cm, 即理想滴灌量的土壤湿润半径在 15~20 cm 之间, 才能充分与玉米根系重叠, 达到充分吸收水分的目的。各滴灌量的土壤湿润半径(见表 6), 从表 6 中可以得出露地滴灌  $75\,\text{m}^3/\text{hm}^2$  外, 其它滴灌量均达到要求的湿润半径。从入渗深度与湿润半径的比来看, 膜下滴灌为 1.86~2.15; 露地滴灌为 1.46~1.85, 可见膜下滴灌主要增加了水分的纵向深度, 其较露地滴灌增加为 16.2%~27.4%。而露地滴灌比膜下滴灌横向水分增加 6.2%~6.5%。横向水分的增加加大了土壤蒸发面积, 可见膜下滴灌比露地滴灌节水的原因在于增加了水分的纵向深度, 更有利于玉米根系吸收。

表 6 不同滴灌量下土壤湿润半径及深度

灌溉方式	膜下滴灌				露地滴灌				
	0	150	300	450	75	150	300	450	600
灌溉量/ $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$									
湿润半径/cm	0	16.1	18.8	23.2	11.0	17.1	21.5	24.7	26.9
湿润深度/cm	0	30	40	50	20	25	35	40	50
比率/%	0	1.86	2.13	2.15	1.81	1.46	1.63	1.62	1.85

注: 测定时间为滴灌后 24 h。

3 小 结

- (1) 滴灌的增产作用表现在使玉米株形紧凑, 增加了穗粒数和百粒重。
- (2) 膜下滴灌较露地滴灌增加了水分的纵向运动, 其较露地滴灌增加 16.2%~27.4%, 更有利于玉米根系吸收。
- (3) 在低灌溉量下(灌溉量小于  $600\,\text{m}^3/\text{hm}^2$ ), 滴灌是获得产量的必要措施, 尤其是膜下滴灌, 畦灌在此灌溉量下几乎不可能实施。单就增产作用, 以  $300\,\text{m}^3/\text{hm}^2$  为例, 膜上滴灌较畦灌增产 79.3%, 露地滴灌较畦灌增产 37.61%。在较高灌溉量下(灌溉量大于  $40\,\text{m}^3/\text{hm}^2$ ), 滴灌的增产作用更加显著, 在此灌溉量下对滴灌来说实施较困难, 分段滴灌才是较好的方法。单就增产作用以  $900\,\text{m}^3/\text{hm}^2$  为例, 膜下滴灌较畦灌增产 81.36%, 露地滴灌较畦灌增产 42.65%。

(下转第 98 页)

关,而拔节期供一次水对土壤储水的利用程度最大。因此,综合来看,在灌好拔节期关键水的前提下,应以适当减少灌水次数为宜。

参考文献

1 山仑,徐萌. 节水农业及其生理生态基础. 应用生态学报, 1991, 2(1): 70 ~ 76

2 山仑. 提高半干旱地区农田生产力的现实途径及未来策略. 中国科学院、水利部西北水土保持研究所集刊, 1991, 8 集, 1 ~ 9

3 李玉山. 渭北塬区农田水分供需特征和低定额灌溉研究. 中国农业科学, 1985(4): 42 ~ 48

4 段玉田. 限水灌溉对冬小麦产量和水分利用效率的影响. 山西农业科学, 1994(2): 16 ~ 19

5 黄久常. 补充供水对干旱地区小麦产量和水分利用效率的影响. 干旱地区农业研究, 1990(4): 105 ~ 109

6 Undersander D. J., Management of sorghum under limited irrigation, Agron. J. 1986, 78: 28 ~ 32

7 Gajri, P. R., Effect of small irrigation amounts on the yield of wheat, Agric. Water Management, 1983, 6 (1): 31 ~ 41

8 Kirkham M. B., and Kanemasu E. T., Wheat, In: Crop Water Relation (Ed by Teare I. D. and Peet M. M.), New York: John Wiley and Sons, 1983, 481 ~ 520

9 Passioura J. P., Water transport in and to roots, Ann. Rev. Plant Physiol., 1988, 39: 245 ~ 265

(上接第 75 页)

(4) 滴灌显著提高了玉米的水分利用效率,而且较畦灌在低灌溉量下更稳定。例如膜下滴灌  $400\text{ m}^3/\text{hm}^2$  与畦灌  $900\text{ m}^3/\text{hm}^2$  比较,膜下滴灌产量增加 18.9%,耗水量减少 11.7%,水分利用效率提高了 32.5%,水分反映系数降低 200%;露地滴灌  $600\text{ m}^3/\text{hm}^2$  与畦灌  $900\text{ m}^3/\text{hm}^2$  比较,露地滴产量增加 16.7%,耗水量减少 6.9%,水分利用效率提高 25.3%,水分反映系数降低 130%左右。

参考文献

1 吴志峰等. 水资源危机与节水农业. 热带亚热带土壤科学, 1997(6): 51 ~ 56

2 D. 戈德堡等. 滴灌原理与应用. 中国农业机械出版社, 1994, 156 ~ 160

3 李玉山等. 渭北旱塬作物水分产量潜力与水—肥—产量关系. 长武王东沟高效生态经济系统综合研究, 科学出版社. 1991, 115 ~ 125

4 腾流慧等. 我国节水灌溉技术的现状及发展前景. 水利水电技术, 1997(3): 52 ~ 55

5 郭天财. 发展节水灌溉和旱地农业存在的问题及对策. 作物杂志, 1997(1): 26 ~ 27