

## 夏玉米低定额畦灌田间试验研究

阳晓原<sup>1,3,4</sup>, 范兴科<sup>1,2,3</sup>, 吴普特<sup>1,2,4</sup>, 叶成恒<sup>1,3,4</sup>

<sup>1</sup>中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌, 712100; <sup>2</sup>西北农林科技大学, 陕西杨凌 712100;

<sup>3</sup>国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心, 陕西杨凌, 712100; <sup>4</sup>中国科学院研究生院, 北京, 100049)

**摘要:** 为了合理利用水资源, 探索实现低定额均匀灌溉的适宜方法和技术路线, 设计作物高效用水的有限灌溉制度, 在陕西省杨凌区中壤土玉米地开展了不同畦田规格和灌水定额对土壤水分及玉米产量影响的田间试验。结果表明: 对于田面坡度一定的试验田块, 入畦单宽流量在3~6l m/s 范围内, 畦田宽度在4 m 以内时, 各处理小区的土壤平均含水量无显著性差异, 但畦田内土壤水分分布却有不同差异, 当畦宽2~3 m, 畦长50 m 时可达到较高灌水效率( $E_a > 80\%$ )和灌水均匀度( $DU > 80\%$ ); 玉米拔节-抽雄期的灌水定额处理对玉米的生长存在明显影响; 不同灌水定额对作物产量、水分利用效率影响显著。

**关键词:** 畦灌; 畦田规格; 灌水定额; 水分利用率; 夏玉米

中图分类号: S275.3 文献标识码: A

### Study on Field Experiment of Summer Corn for Low Border Irrigation

Yang Xiaoyuan<sup>1,3,4</sup>, Fan Xingke<sup>1,2,3</sup>, Wu Pute<sup>1,2,4</sup>, Ye Chengheng<sup>1,3,4</sup>

<sup>1</sup>Institute of Soil and Water Conservation, CAS&MWR, Yangling Shaanxi 712100;

<sup>2</sup>Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling Shaanxi 712100;

<sup>3</sup>National Engineering Research Center for Water Saving Irrigation at Yangling, Yangling Shanxi 712100;

<sup>4</sup>Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

**Abstract:** Field experiment was carried out in Yangling area to study the effect of border irrigation on soil water and growth of summer maize under the condition of optimal soil water lower limit, Meanwhile, for purpose of rational utilization of water resources, exploring optimum methods and technical routes of low irrigation quota and forming limited irrigation system of crop high efficient use of water. The results shows that the variation of average soil water content was small but of soil water distribution in border check of different border dimensions was big. The optimization inflow rate of unit width, border wide and border length in field experiments are in the rang of 3~6l m/s, 2~3m and around 50 m could ensure high irrigation quality with Application Efficiency( $E_a > 80\%$ ) and Distribution Uniformity ( $DU > 80\%$ ). The variation of physiological characters of maize was small with different border dimensions but big with different irrigation quota in jointing-heading stage of mazie. Under the condition of border irrigation of different irrigation quota had a big effect on summer maize yield and water use efficiency.

**Key words:** border irrigation, border dimensions, irrigation quota, water use efficiency, summer corn

## 0 引言

地面灌溉是全球应用最为广泛的灌水方法, 中国地

面灌溉面积占总灌溉面积的97%。而且在相当长时间内, 地面灌溉在中国农田灌溉中仍将占主导地位<sup>[1]</sup>。随

基金项目: 中国科学院重要研究项目“半干旱地区农业高效用水的生物学原理及其应用”(kzcx3-sw-444)。

第一作者简介: 阳晓原, 男, 1982年出生, 湖南邵阳人, 硕士, 主要从事节水灌溉新技术研究。通信地址: 712100 陕西省杨凌区西农路26号 中科院水土保持研究所, E-mail: xyoyang@163.com。

通讯作者: 范兴科, 男, 1964年出生, 陕西岐山人, 研究员, 研究方向为节水灌溉新技术。通信地址: 712100 陕西省杨凌区西农路26号水土保持研究所, E-mail: gjzfxk@vip.sina.com。

收稿日期: 2009-02-18, 修回日期: 2009-03-12。

着精细灌溉方法和计算机数值模拟技术的发展,人们对传统的畦灌灌溉试验研究相对减少,但在中国北方很多地区因气候、农业特点、灌水设施、经济状况等条件的约束大多还是采用畦灌这种传统的灌溉方法<sup>[2]</sup>。

土壤中的水分分布状况对作物的生长有着较为显著的影响。Helms等<sup>[3]</sup>的研究结果表明,土壤水分的适宜范围是作物生长良好的重要土壤环境参数之一,不适宜的土壤水分环境将明显改变作物的正常生长。玉米是中国主要粮食作物,在粮食作物构成中仅次于水稻、小麦,而居杂粮之首,夏玉米在黄淮海地区主要集中于河南全省、陕西省中部等地。对于中国北方缺水地区,以有限的水资源,在较小的土地面积上,集中高效用水,通过提高玉米单产、实现增加总产,是对水资源最经济有效的利用。目前针对西北地区不同地面灌溉技术下对夏玉米生长及产量的影响研究较少,国内外以研究地面灌溉理论如水流运动模型较为多见<sup>[4-7]</sup>。此试

验在杨陵地区采取地面补充灌溉模式,在相同施肥量、相同气候和耕作措施的基础上,以灌水质量和水分利用效率为评价指标,探讨了不同畦田规格、灌水定额对土壤水分、玉米生长及产量的影响,这对中国北方同类地区粮食作物高效用水的有限灌溉制度设计具有一定指导意义。

## 1 试验设计与方法

### 1.1 试验地概况

试验在陕西中部地区关中平原杨凌区进行,属温带半湿润气候,多年平均降水量637.6 mm,平均气温12.9℃,年温差27.3℃。供试土壤为中壤土,土壤容重1.34 g/cm<sup>3</sup>,田间持水量为24.3%(重量含水量)。试验地选择多年耕种肥力相同的地块,地面坡度基本均匀(见表1)。种植作物为夏玉米,品种为北京德龙郑单958,种植行距为60 cm,株距30 cm,于2008年6月9日播种,2008年10月初进行采收考种。

表1 畦灌田间试验分析表

小区编号	畦长/m	畦宽/m	畦坡/%	土壤容重/(g/cm <sup>3</sup> )	单宽流量/(L/s·m)
1	30	1.5	1.7	1.40	6.25
2	30	2.8	1.7	1.29	3.35
3	30	3.5	1.7	1.31	2.68
4	50	1.5	1.5	1.39	6.25
5	50	2.8	1.5	1.33	3.35
6	50	3.5	1.5	1.37	2.68
7	70	1.5	1.3	1.36	6.25
8	70	2.8	1.3	1.27	3.35
9	70	3.5	1.3	1.31	2.68

### 1.2 试验设计

试验地灌溉方式采用畦灌,设计畦灌区的畦长分别为30、50、70 m,根据玉米的种植行距,畦宽设计为1.5、2.8、3.5 m,组合成九个小小区;用三角堰测量灌溉水流量,利用公式 $Q=ch^{5/2}$ <sup>[8]</sup>计算,式中c为堰流系数,对该堰板取0.014,h为堰高。试验处理的设计灌水定额通过作物允许的土壤水分下限和灌水上限确定<sup>[9]</sup>。此试验设计土壤水分下限为田间持水量60%,取田间持水量为灌水上限。计划湿润层深度取60 cm。计算得出试验的设计灌水定额应该为781 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。

### 1.3 观测内容

1.3.1 土壤水分 在畦长为30、50、70 m的畦田内,沿畦长方向分别均匀布置3、4、5个取样点测定土壤含水率,取样深度灌水前为60 cm,灌水后100 cm。整个生育期总共分五次测量土壤水分。分别为播种-拔节、拔节-抽雄、抽雄-灌浆、灌浆-成熟四个时期各一次。土钻

烘干法测量,取样深度为60 cm。再加上人工灌水后一次,分别于灌水前1天和灌水后2天对各畦田进行土壤含水率的测定。

1.3.2 畦田水流推进过程 灌水时进行水流推进和消退过程观测,自畦田入口开始每隔10 m设置1个观测点,记录水流推进和消退时间,最后可得出各小区灌水时间及灌水量。对于宽度大于2 m的畦田,沿畦长方向均匀布置两条水流推进与消退观测线,取两条线的平均值作为水流推进与消退过程线,试验中灌水所有畦田的改口成数均为0.9。

1.3.3 玉米生理性状及产量 在畦长为30、50、70 m的各处理小区内沿畦长方向分别选取3、4、5个样点,每个样点选取3株玉米并定期测定株高,取其平均值作为株高测量值。每个小区采集1 m×1.5 m的玉米产量,设三个重复,产量以各处理所对应小区脱粒玉米的干重平均值为基础进行统计比较。

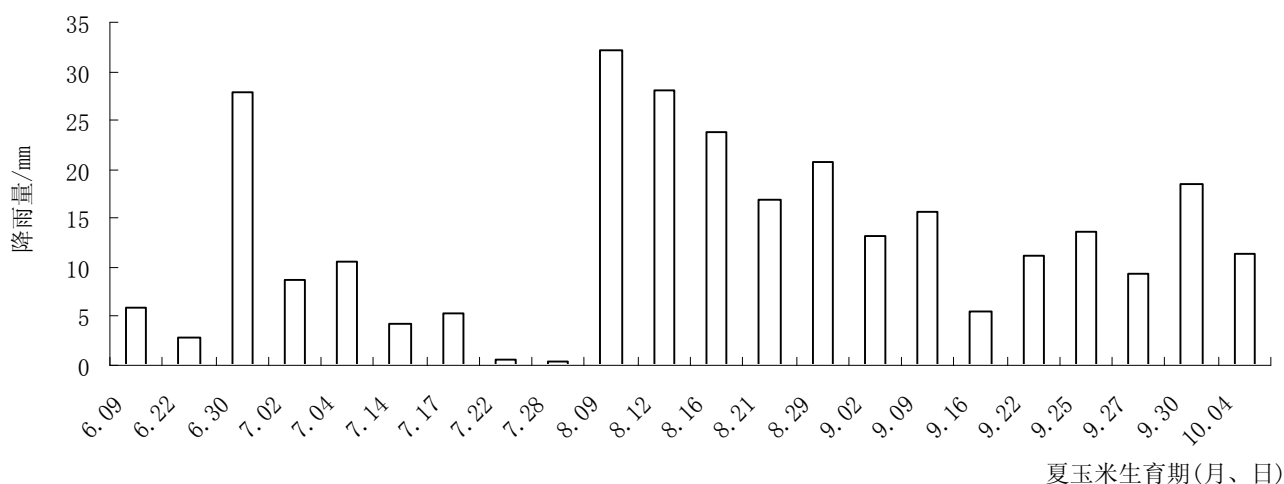


图1 2008年关中地区杨凌降雨情况(6—10月)

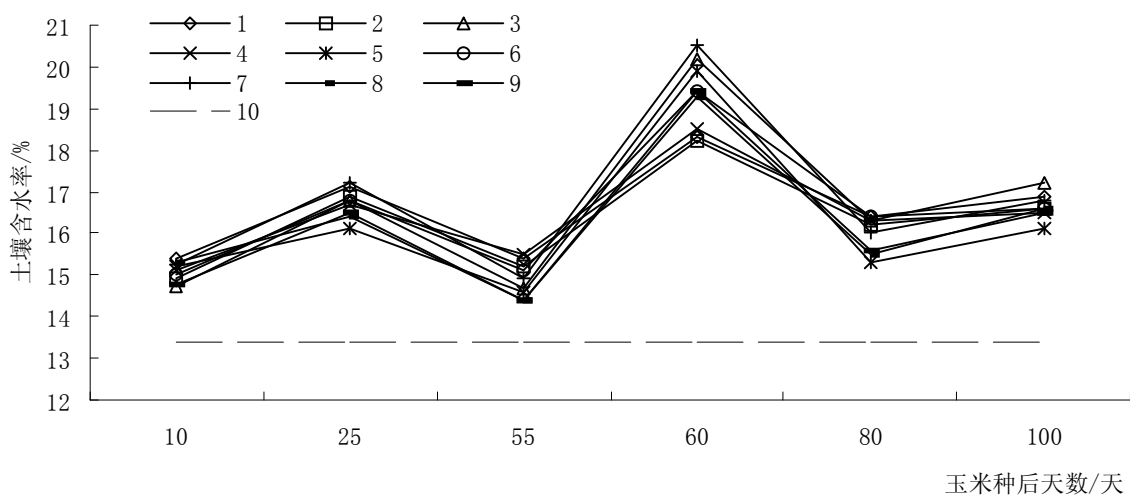


图2 夏玉米生育期内0-60 cm平均土壤质量含水率变化

## 2 结果分析与讨论

### 2.1 降雨、灌溉与土壤平均含水量

从杨凌地区2008年的降雨情况(图1)可知,降雨主要集中在8月份以后(夏玉米抽雄期以前)。在6月份至7月份之间,降雨较少,作物需水主要依靠灌溉。但在玉米播种-拔节期夏玉米需水相对较少,由图1可以看出这一阶段的降雨能满足玉米的生长。此次夏玉

米的灌水试验在拔节-抽雄期实施,抽雄期以后降雨量完全可以满足夏玉米生长所需。

从图2中可以发现,灌溉后各处理在夏玉米整个生育期内的平均含水率变化趋势基本相同,各处理的平均含水率在整个生育期内都不低于设定的适宜土壤水分下限(图中10号线)。说明实际灌水和天然降雨满足了作物整个生育期的土壤水分要求。

表2 畦灌灌水质量评价表

小区	畦长/m	畦宽/m	单宽流量/(L/s·m)	灌水定额/(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	灌水均匀度	灌水效率
1	30	1.5	6.85	674.0	0.86	0.74
2	30	2.8	3.67	682.0	0.83	0.80
3	30	3.5	2.93	754.2	0.79	0.76
4	50	1.5	6.85	741.1	0.90	0.80
5	50	2.8	3.67	785.7	0.88	0.91
6	50	3.5	2.93	815.8	0.82	0.74
7	70	1.5	6.85	862.4	0.89	0.76
8	70	2.8	3.67	893.6	0.87	0.77
9	70	3.5	2.93	936.1	0.78	0.69

附:试验测得平均堰头水深为13.5 cm,利用公式得出各小区入畦流量为33.7 m<sup>3</sup>/h。

2.2 土壤水分分布与灌水质量评价

由表2可以得出:灌水均匀度以畦宽为3.5 m的最低;灌水效率以畦宽为2.8 m的最高。从土壤水分分布均匀也即灌水质量较高的前提下考虑 (DU>80%, Ea>80%),单宽流量在3~6l m/s 范围内、田面坡度为1.5%左右时,畦宽以2~3 m为宜。

分析表2可知,当单宽流量和地面坡度一定时,灌水定额随畦长的增加而增大,随畦长的减少而减小。畦长一定时,灌水定额随着单宽流量的增加而减少,反之则增加。畦长30 m的分别要比畦长50 m、70 m的平均节水9%、26%以上;畦长为50 m的各小区灌水均匀度、灌水效率基本相同,而相比畦长为30 m和70 m各小区的要高些。另外,由表可知,灌水定额随畦长的增大而增大,其中以畦长50 m左右趋于设计灌水定额。结合以上分析及试验地设计灌水定额考虑,畦长以50 m左右为宜。由此得出:畦田规格对各处理小区

的土壤水分分布有显著性影响,入畦流量较小(<9 L/s)情况下,畦宽不宜太大,一般不超过3.5 m,以2~3 m为宜;畦长不宜过长,一般控制在50 m左右。这样能使畦田纵坡面具有较高灌水效率和灌水均匀度,有利于整个田间作物的生长及高产。

2.3 夏玉米产量和水分利用率

(1)将试验各小区夏玉米分别脱粒后晒干称重(见表3)。从表格数据来看,处理小区5、8、2的夏玉米产量比其他小区的产量普遍要高些,处理小区3、4、6、7的夏玉米产量差异不明显,以小区1、9的产量最低。

从方差分析可知(见表4),F值=17.68远远大于F(8,18)<sub>0.05</sub>=2.51,因此,畦灌小区各处理间的产量差异极显著。这主要是由于8月份的一次灌水处理差异使得各小区的土壤水分分布具有明显差异,进而影响了夏玉米玉米拔节-抽雄期的生长,造成最后玉米产量的不一致。

表3 试验各处理小区的玉米产量

(kg)

小区	1	2	3	4	5	6	7	8	9
重复1	0.67	0.92	0.81	0.86	1.06	0.78	0.72	0.93	0.77
重复2	0.69	0.86	0.82	0.82	1.09	0.80	0.80	0.91	0.73
重复3	0.68	0.875	0.83	0.89	0.94	0.83	0.86	0.92	0.79
产量kg	0.68	0.89	0.82	0.86	1.03	0.80	0.79	0.92	0.76

表4 各处理小区玉米产量方差分析

方差分析						
差异源	SS	df	MS	F	P-value	F crit
组间	0.240585	8	0.030073	17.68046	4.75E-07	2.510158
组内	0.030617	18	0.001701			
总计	0.271202	26				

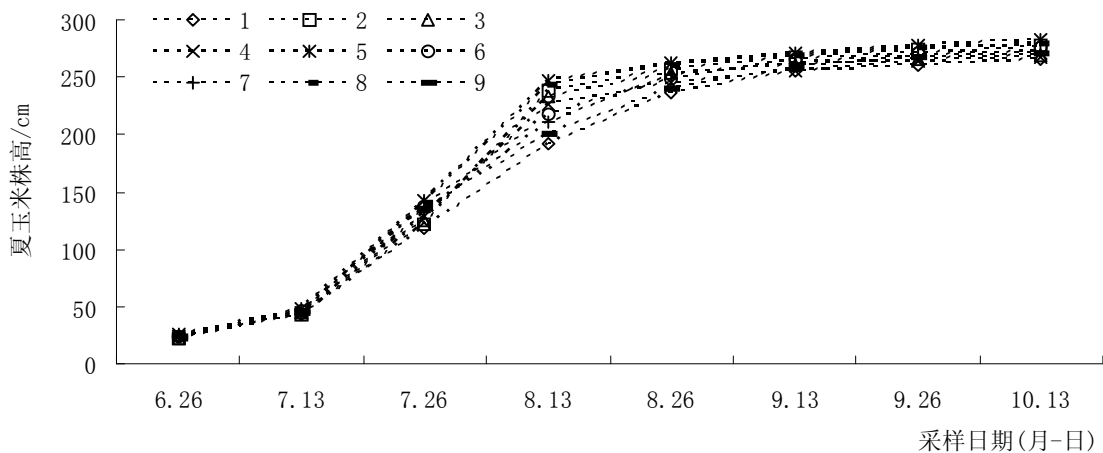


图3 各处理小区玉米株高进程图

深入分析玉米生长,由图3可知,各处理试验的玉米株高增长速度随着生育期的延长而增加,在玉米出苗至拔节期,茎秆增长缓慢,各处理小区株高差异不

明显;拔节期到抽雄期这一段时间株高生长差异显著;抽雄期以后茎秆增长趋于缓慢并停止,各处理小区玉米株高差异明显。很明显这是由于8月4号各小



区的不同灌水处理(见表5)造成的,因为土壤水分对玉米的生长起关键作用,这一时期的不同灌水定额使

得畦田土壤水分含量存在差异,进而影响夏玉米的生长。

表5 试验各处理小区的水分利用效率

小区	畦宽/m	畦长/m	灌溉定额/(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	灌水量/mm	耗水量(ET)/mm	产量/(kg/hm <sup>2</sup> )	水分生产效率/(kg/m <sup>3</sup> )
1	1.5	30	674.0	67.40	349.66	4533.33	1.30
2	2.8	30	682.0	68.20	340.73	5933.33	1.74
3	3.5	30	797.0	79.70	346.04	5466.67	1.58
4	1.5	50	741.1	74.11	357.17	5733.33	1.61
5	2.8	50	785.7	78.57	357.53	6866.67	1.92
6	3.5	50	815.8	81.58	355.15	5333.33	1.50
7	1.5	70	862.4	86.24	359.89	5266.67	1.46
8	2.8	70	893.6	89.36	365.02	6133.33	1.68
9	3.5	70	936.1	93.61	366.14	5066.67	1.38

拔节期到抽雄期的夏玉米茎秆生长处于快速的生长阶段,各处理小区相对株高增长差异显著。抽雄期后,各处理小区玉米株高相对增高差异不明显,主要是由于抽雄期以后降雨较多(见图1),能充分满足各个小区的玉米生长水分所需,而使得前期抽雄期阶段的灌水处理影响大大降低。由此可以说明拔节期不仅是植株形态生长的关键时期,而且是作物干物质积累的关键时期,拔节期耗水量对玉米产量形成至关重要。

(2)水分利用效率(WUE):从表5看出,各处理小区的水分生产效率都在1.3 kg/m<sup>3</sup>以上,以第5、2、8小区的水分利用效率较高,分别达到了1.92 kg/m<sup>3</sup>、1.74 kg/m<sup>3</sup>、1.68 kg/m<sup>3</sup>。按各小区水分利用效率高低依次排序为:处理5>处理2>处理8>处理4>处理3>处理6>处理7>处理9>处理1。由以上可知水分利用效率较高的为畦长50 m,畦宽小于2.8 m的各处理小区。

以各小区的灌水质量、产量和水分利用效率为评价指标,在入畦流量、畦田坡度一定的中壤土地,综合考虑起垄工作量、灌水质量和水分利用效率,在选择夏玉米种植的畦田规格时,推荐入畦单宽流量在3~6l m/s范围内,畦宽2~3 m,畦长50 m左右为宜。

### 3 结论

试验研究了陕西省杨凌区中壤土玉米地畦田规格及灌水技术要素对土壤水分及玉米产量的影响。试验结果表明:

(1)对于坡度一定的试验田块,畦田规格对土壤水分的分布具有明显影响。在畦田灌水阶段,不同的畦田规格对灌水后的土壤水分分布具有显著差异,入畦

单宽流量在3~6l m/s时,畦宽一般不宜超过3.5 m,以2~3 m为宜,畦长一般控制在50 m左右,这样能使畦田纵坡面具有较高灌水效率和灌水均匀度。

(2)拔节期耗水量对玉米产量形成至关重要,不同灌水定额对玉米拔节-抽雄期株高有显著影响。(3)不同灌水定额对作物产量、水分利用效率的影响显著,畦田规格以畦长50m、畦宽2.8m各处理小区的玉米产量和水分利用效率最高。

### 参考文献

- [1] 石玉林,卢良恕.中国农业需水与节水高效农业建设[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
- [2] 史学斌,马孝义,聂卫波等.地面灌溉的研究现状与发展趋势[J].水资源与水工程学报,2005,16(1),34-40.
- [3] Helms T C, Deckard E, Goos R J, Enz J W. Soil moisture, temperature, and drying influence on soybean emergence [J]. Agron. J.1996, 88:662-667.
- [4] Mathew G, Connell L D and Russell G M. Border irrigation field experiment I: Water Balance [J].Journal of Irrig. and Drain. Eng. ASCE, 2000, 126(2):85-91.
- [5] 刘钰.畦田水流运动的数学模型及数值计算[J].水利学报,1987,(2): 1-10.
- [6] 路京选,刘翠仁,惠士博.地面灌溉节水技术研究[J].自然资源学报, 1989,4(4):330-342
- [7] 李援农,范兴科.畦田灌溉设计中存在的问题及处理方法[J].水土保持研究,2002,9(2):48-50.
- [8] 吴持恭主编.水力学[M].高等教育出版社2002.5.
- [9] 陈玉民,郭国双,王广兴等.中国主要作物需水量与灌溉[M].北京:水利电力出版社,1995.