

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2012.05.015

山东半湿润井灌区精细地面灌溉技术试验

马海燕^{1 2} 张展羽¹ 杜贞栋² 吕宁江² 李其光² 王 昕²

(1. 河海大学水利水电学院 , 江苏 南京 210098 ; 2. 山东省水利科学研究院农村水利研究所 , 山东 济南 250013)

摘要 :在山东半湿润井灌区选择典型试验区 , 连续 2 a 开展冬小麦精细地面灌溉试验。通过大田地面灌水试验 , 研究项目区地面灌溉的适铰灌水技术要素。采用地面灌溉模拟模型(SRFR 模型) 对各次灌溉试验进行数值模拟 , 在验证模型精度的同时 , 研究不同畦长、地面坡降、单宽流量和闭口成数组合条件下畦灌的灌水过程和灌水质量 , 提出试验区地面灌溉灌水技术要素参考值 , 为山东半湿润井灌区地面灌溉技术参数的优化提供依据。通过分析试验结果提出建议 (a) 推广精细平地技术 , 适当减小田面坡降 , 提高田面平整度 (b) 畦长以 60 ~ 70 m 为宜 (c) 入畦单宽流量控制在 3 ~ 6 L/(s · m) 为宜。

关键词 :地面灌溉 ; 模拟模型 ; 灌水技术要素 ; 山东半湿润井灌区

中图分类号 : S274.1 **文献标志码 :** A **文章编号 :** 1000-1980(2012) 05-0555-08

Experimental research on precision surface irrigation technique for well irrigation district in semi-humid region in Shandong Province

MA Haiyan^{1 2} , ZHANG Zhanyu¹ , DU Zhendong² , LYU Ningjiang² , LI Qiguang² , WANG Xin²

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China ;

2. Rural Water Conservancy Research Institute , Water Resources Research Institute of Shandong Province , Ji ' nan 250013 , China)

Abstract : Precision surface irrigation experiments were conducted for two consecutive years in a typical experimental winter wheat planted area , which represents the conditions of the well irrigation district in the semi-humid region in Shandong Province. Suitable irrigation design and management variables of surface irrigation were studied through experiments. These experiments were simulated by the SRFR model , which is a surface irrigation simulation model. The model was validated and the process and performance of border irrigation with different combinations of border length , slope , discharge per unit width , and inflow cutoff were studied. The reference values of irrigation design and management variables of surface irrigation are presented , providing a basis for optimization of the surface irrigation design and management variables for the well irrigation district in the semi-humid region in Shandong Province. Based on analysis of the experimental results , some suggestions are put forward : (a) reducing the gradient and improving the roughness of the irrigation borders by means of land leveling , (b) maintaining a suitable border length of 60 to 70 m , and (c) maintaining a suitable discharge per unit width of 3 to 6 L/(s · m).

Key words : surface irrigation ; simulation model ; irrigation design and management variable ; semi-humid well irrigation district in Shandong Province

地面灌溉灌水技术参数的确定是关系到地面灌溉灌水质量优劣的关键因素 , 确定合理的地面灌溉灌水技术参数对发展节水农业具有重要意义。本文通过采用地面灌水试验与地面灌溉水流数值模拟相结合的方法 , 初步研究了山东半湿润井灌区不同畦长、地面坡降、单宽流量与闭口成数组合条件下畦灌的灌水过程和灌溉效果特点 , 提出试验区地面灌溉灌水技术要素参考值 , 为山东半湿润井灌区地面灌溉技术参数的优化提

收稿日期 : 2011-09-25

基金项目 : 国家高技术研究发展计划(863 计划)(2006AA100222) ; 农业部公益性行业科研专项(200903001-05)

作者简介 : 马海燕(1981 —) 女 , 山东曲阜人 , 博士研究生 , 主要从事节水灌溉理论与技术研究。 E-mail : baby0807@163.com

供依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

地面灌溉试验区选择在国家“十一五”课题“山东半湿润区现代节水农业技术与集成”项目区展示区内,位于山东省淄博市桓台县。山东省是我国主要粮仓之一,属于半湿润区,水资源紧缺。桓台县位于山东省内陆地区,属平原井灌区,为高产粮区,在山东省粮食产区具有典型代表性。项目区种植作物主要为冬小麦和夏玉米,试验在2009年小麦冬灌期间(2009年11—12月)及2010年春灌期间(2010年4月)进行。土壤质地为壤土,平均干密度为 1.54 g/cm^3 ,田间持水率 $w=23\%$,畦田宽度一般为 1.5 m ,机井供水量一般为 $20\sim 30\text{ m}^3/\text{h}$;田间灌溉工程为管道输水灌溉。

1.2 试验设计

对于井灌区,井水的出水量一定,主要通过选择合理的畦田规格和平整土地来提高灌水效率。试验处理以畦田规格、入畦单宽流量、闭口成数为参数进行处理设计。

畦田规格:考虑到项目区所在桓台县畦田宽度多采用 1.5 m ,故设计畦宽为 1.5 m ,设计畦田长度为4个规格 30 m 、 50 m 、 70 m 和 90 m ,畦埂高通常为 $0.20\sim 0.25\text{ m}$ 。

入畦单宽流量:入畦流量以保证灌水均匀,不冲刷土壤为原则。通常入畦单宽流量 $q=3\sim 6\text{ L/(s}\cdot\text{m)}^{[1]}$,土壤入渗能力高、畦较长、纵坡较小的, q 取大值;反之取小值。

闭口成数:研究与试验均表明,闭口成数会对灌水质量产生一定影响。闭口成数与灌水定额、土壤入渗能力、坡度等条件有关,一般取 $0.7\sim 1.0$ 。本次试验参考桓台县实际灌水情况,设置闭口成数为3个级别: 0.7 、 0.8 、 0.9 。

本次地面灌溉试验设计参数及试验实测参数如表1所示。试验区内地面坡降在 $0.3\%\sim 0.6\%$ 之间,区内典型田块微地形详见图1。

表1 试验田块设计参数与实测参数

Table 1 Design parameters and measured parameters of experimental plots

年份	畦号	畦长/m	平均坡降/%	单宽流量/ $\text{L}\cdot(\text{s}\cdot\text{m})^{-1}$		闭口成数	
				设计	实际	设计	实际
2009	18	30	0.04	3.0	2.1	0.7	0.7
	26	50	0.04	4.5	4.4	0.8	0.8
	29	70	0.05	4.5	4.5	0.8	0.8
	34	90	0.06	4.5	4.4	0.7	0.7
2010	8	30	0.05	3.0	2.6	0.8	0.8
	30	50	0.05	3.0	2.7	0.7	0.7
	31	70	0.05	3.0	2.5	0.9	0.9
	36	90	0.04	4.5	4.7	0.7	0.7

注:鉴于版面原因,只列出代表性数据。

1.3 试验观测内容

a. 田面微地形:沿畦长方向用水准仪测定左、中、右3条线的高程变化,每 10 m 设1个测点。

b. 土壤含水量:选1~2畦,灌前 24 h 、灌后 24 h 内,测定每畦首、中、尾3个剖面 $0\sim 1\text{ m}$ 含水量。

c. 水流推进速度:用水表测定入畦流量;用秒表记录灌水入畦的开始时间和改畦时间;每 5 m 做标记,记录水流前锋推进到每个标记点的时间,地表水深与水流推进速度同步测定。

d. 水流消退速度:用秒表记录各标记点地面明水开始落干的时刻。

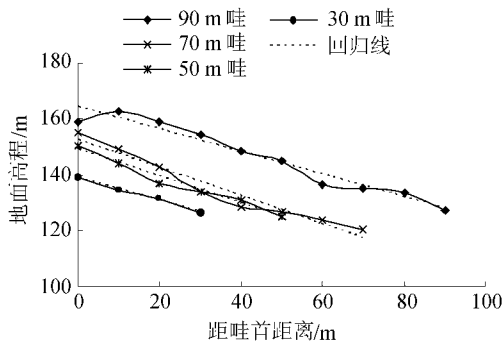


图1 试验区田块沿畦长方向的微地形
Fig. 1 Variations of relative elevations along border length direction in experimental plots

2 试验结果初步分析

2.1 水流推进规律

以畦长分别为 30 m、50 m、70 m、90 m,闭口成数均为 0.7 的处理为例,图 2 绘出了 2009 年上述各灌水畦田在不同单宽流量时的水流推进过程线。由图 2 可以看出,在相同的畦长和闭口成数条件下,水流推进速度随单宽流量的减小而减小。

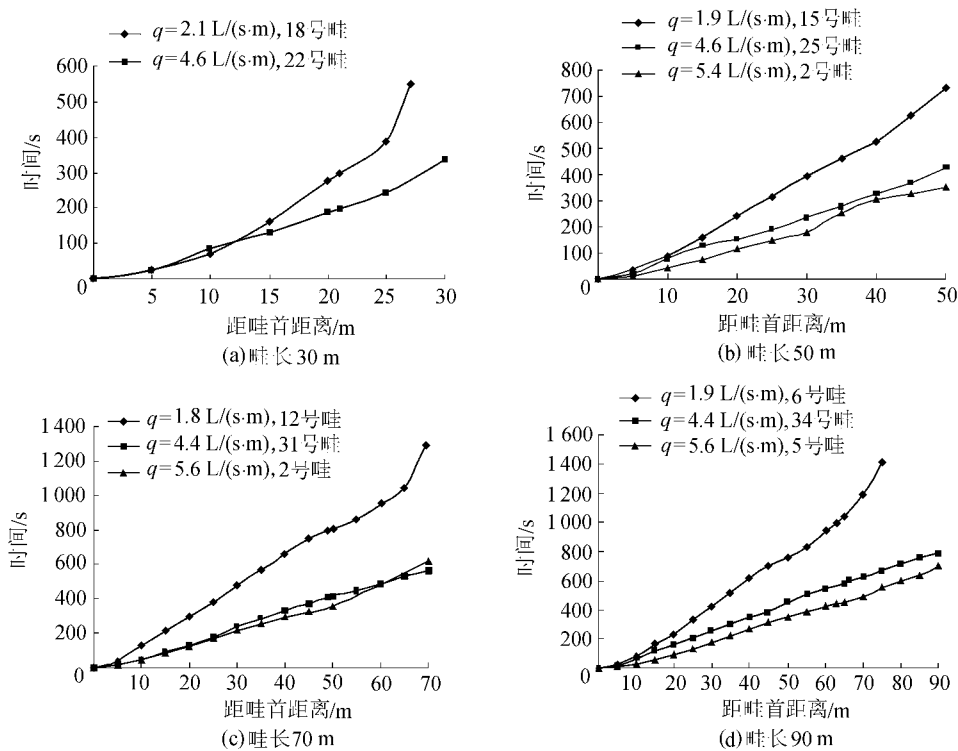


图 2 畦田水流推进过程线(相同闭口成数)

Fig. 2 Water flow advance processes with same inflow cutoff

图 3 绘出了 2009 年相同单宽流量($q = 4.6 \text{ L/(s}\cdot\text{m)}$)不同畦田的水流均推进至距畦首 20 m 和 40 m 处时的过程线。

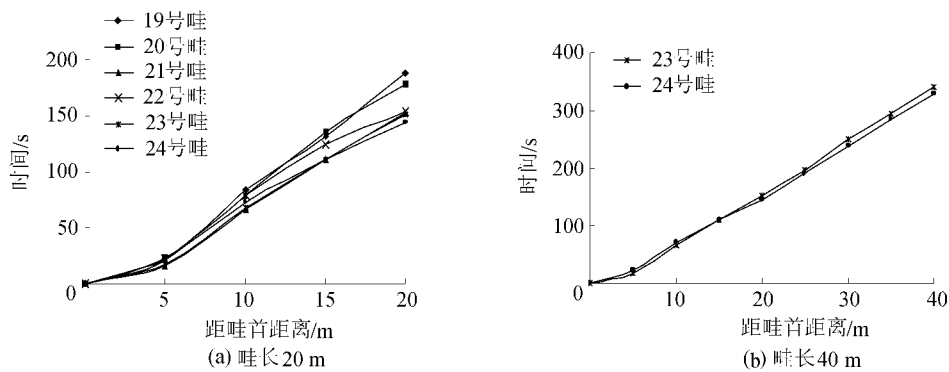


图 3 畦田水流推进过程(相同单宽流量)

Fig. 3 Water flow advance processes with same discharge per unit width

由图 3 可以看出,在各畦田灌前的 0 ~ 60 cm 土壤含水率一致(均为 $w = 18.74\%$,约占田间持水率的 81%)的条件下,畦田间的微地形差异导致相同单宽流量的畦田水流推进速度之间存在差异^[2]。例如,19 号畦田水流推进至 20 m 处的时间为 188 s,而相同单宽流量的 22 号畦田水流推进至 20 m 处的时间仅为 153 s,前者是后者的 1.23 倍,23 号畦田水流推进至 40 m 处的时间为 342 s,而相同单宽流量的 24 号畦田水流推进至 40 m 处的时间仅为 373 s,后者是前者的 1.09 倍。除田面微地形的影响外,Or 等^[3]的试验研究表明,土壤入

渗特性空间变异也对地表水流推进过程影响较大。

已有试验研究表明,畦灌水流推进过程可用以幂函数来描述^[4]:

$$X = at^b$$

(1)

式中: X ——推进距离, m ; t ——推进时间, s ; a, b ——推进曲线回归参数。

对灌水试验不同处理的水流推进过程曲线分别进行拟合,并根据上述拟合结果计算得试验区水流推进曲线参数为 $a = 2.788, b = 1.395$,因此,试验区畦灌水流推进过程可用幂函数 $X = 2.788 t^{1.395}$ 描述。

2.2 灌水量计算

由表2看出,灌水量一般随畦长的增大而增大,畦长30 m平均灌水量 $349 m^3/hm^2$,比畦长90 m平均灌水量 $391 m^3/hm^2$ 节约用水10.7%。因此,为实现节水目的,建议长畦改短畦。但灌水质量评价不仅仅以灌水量为主要评价指标,还需综合分析相应的灌水效率和灌水均匀度,从而确定适宜的畦长等灌水技术要素。

表2 各试验田块灌水量计算

Table 2 Irrigation amount calculation for experimental plots

年份	畦号	畦长/ m	平均坡降/ %	单宽流量/ ($L \cdot (s \cdot m)^{-1}$)	闭口成数	灌水时间/ min	灌水量/ (m^3/hm^{-2})
2009	18	30	0.04	2.1	0.7	5.0	299
	26	50	0.04	4.4	0.8	5.7	376
	29	70	0.05	4.5	0.8	7.6	367
	34	90	0.06	4.4	0.7	9.9	399
2010	8	30	0.05	2.6	0.8	4.3	282
	30	50	0.05	2.7	0.7	7.9	367
	31	70	0.05	2.5	0.9	14.7	351
	36	90	0.04	4.7	0.7	10.3	459

注:鉴于版面原因,只列出代表性数据。

3 地面灌溉数值模拟

采用美国农业部灌溉研究中心开发的地面灌溉模拟模型——SRFR模型^[5]进行数值模拟。利用拟合反求得到的土壤入渗参数和糙率,通过SRFR模型对几种典型条件的畦田进行地面灌水模拟分析,提出适合项目区当地的不同地形条件下的地面灌水技术要素。

项目区为平原井灌区,畦灌为目前主要灌溉形式。畦田的适宜长宽与单井出水量大小、土壤质地、畦田平整状况、田面坡降及灌水定额有密切关系。评价畦灌灌水技术科学合理性,主要考察其灌水技术要素选择是否合理,能否将符合设计灌水定额的水量均匀灌入畦田。因此,从以下3方面分析评价:灌入的水量是否接近设计灌水定额;沿畦长方向分布是否均匀;是否冲刷畦田。

3.1 土壤入渗参数确定

目前影响较大的入渗模型有Kostiakov模型、Kostiakov-lewis模型、Green-Ampt模型、Philip模型和Horton模型等,其中Kostiakov模型应用最为广泛。因Kostiakov模型简单、实用且计算方便,所以选用该入渗模型。Kostiakov模型属于经验性模型,其表达式为:

$$I = Kt^\alpha$$

(2)

式中: I ——累积入渗量, mm ; t ——入渗历时, min ; K ——入渗系数, mm/min ; α ——入渗指数,无因次。 K, α 通称为入渗参数,属经验常数,本身无物理含义。

采用SRFR模型模拟和评价地面灌水质量时,需得到基于Kostiakov公式的土壤入渗参数(K, α)以及田间糙率(n)。费良军^[6]提出了由灌溉水流推进资料确定土壤入渗参数的方法,该法可有效克服土壤入渗特性的空间变异性,本次拟采用该方法推求试验地田块土壤平均入渗参数。

畦田的长度和宽度按实际观测数据输入,畦田微地形条件按畦长方向不同观测点的地面高程输入。作物灌溉需水量根据土壤墒情和灌溉制度确定,入畦流量按实测流量过程输入,畦田供水时间按实测值输入。用根据水流推进和消退资料推算出的土壤入渗参数^[7]以及当地田间糙率经验值(0.045左右)作为数值模拟的初始值,通过SRFR模型模拟灌水时的水流推进过程和消退过程,反复调整入渗参数,使模拟曲线与实测值拟合最佳,从而反推出土壤入渗参数^[8]。

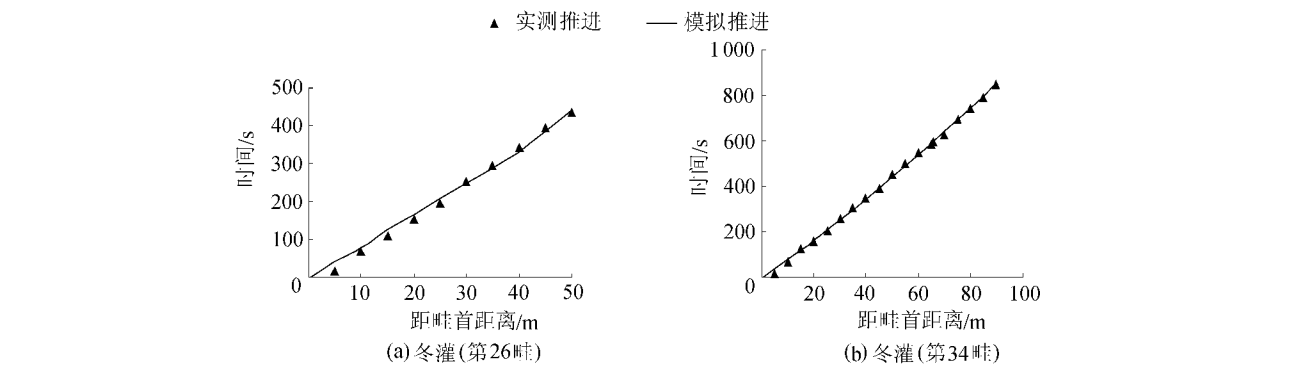


图 4 水流推进过程的模拟曲线与实测值对比

Fig. 4 Comparison of simulated and observed curves of water flow advance process

图 4 为用 SRFR 模型模拟的部分试验畦田灌溉时地面水流推进过程,并与田间实测值对比。结果显示,由于田间观测水流推进前锋比较容易,观测精度较高,因此灌溉水流推进过程模拟曲线与观测值吻合较好。

对典型灌溉试验进行模拟,达到最佳模拟效果时各试验地块的土壤入渗参数和田面糙率见表 3。表 3 中也给出水流过程模拟与实测值的相关系数,相关系数 R 均在 0.992 以上,模拟与实测值的相关程度较高。由表 3 可以看出,由于影响土壤入渗性能的因素较多^[9-12],入渗参数存在时空变异性,即同一地区不同地块的入渗参数不同,同一地块不同时间的入渗参数也不同。根据模拟结果,确定试验区平均入渗参数为 $K = 3.56 \text{ mm/min}$, $\alpha = 0.30$ 。

3.2 灌水效率与灌水均匀度确定

田间灌水效率和灌水均匀度是评价灌水质量的重要指标,其计算方法如下。

3.2.1 灌水效率

灌水效率指灌溉范围内,根系储水层增加的水量与灌入田间的水量之比,计算式为

$$E_a = \frac{V_1}{qt} \tag{3}$$

$$V_1 = \frac{1}{1000} \left[I_{\text{req}} x_c + \sum_{j=n_c}^{n-1} \left(\frac{I_j + I_{j+1}}{2} \Delta x_j \right) \right] \tag{4}$$

式中: E_a ——灌水效率; V_1 ——单位宽度上渗入根系储水层水量, m^3/m ; I_{req} ——按灌水定额计算的需要渗入水量, L ; x_c ——超灌与欠灌分界点对应的离畦首距离, m ; n ——沿畦长测量的入渗水深横断面个数; n_c —— x_c 对应横断面序号; Δx_j ——沿畦长方向第 j 横断面和 $j+1$ 横断面之间的距离, m ; I_j, I_{j+1} ——第 j 横断面和 $j+1$ 横断面上的平均入渗水深, mm 。

3.2.2 灌水均匀度

灌水均匀度反映灌溉水量在田间入渗分布的均匀程度,通常用沿畦长多点入渗水深值进行计算:

$$E_d = 1 - \frac{\Delta \bar{I}}{\bar{I}} \tag{5}$$

式中: E_d ——灌水均匀度,无量纲; $\bar{I}$ ——沿畦长各横断面的平均入渗水深, mm ; $\Delta \bar{I}$ ——沿畦长各横断面入渗

表 3 土壤入渗参数和田面糙率的模型拟合值
Table 3 Fitted values of infiltration parameters and border surface roughness

灌溉	年份	畦号	$K/(\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$	α	n	R
冬灌	2009	6	3.85	0.29	0.045	0.998
		9	4.43	0.30	0.045	0.996
		15	1.57	0.21	0.045	0.997
		16	2.01	0.24	0.050	0.994
		25	2.16	0.22	0.040	0.998
		26	2.20	0.21	0.040	0.996
		33	3.34	0.27	0.040	0.998
		34	4.32	0.33	0.041	0.998
春灌	2010	2	4.20	0.35	0.045	0.997
		3	4.20	0.44	0.050	0.992
		8	4.41	0.35	0.045	0.998
		9	4.34	0.33	0.042	0.996
		33	4.20	0.35	0.045	0.999
		34	4.60	0.35	0.055	0.998

水深的平均离差 μmm 。

采用模型拟合法评价 E_a 和 E_d ,通过 SRFR 模型拟合地面水流推进与消退过程 , E_a 和 E_d 为模拟输出 ,结果见表 4。

表 4 中的模拟结果显示 ,试验区平均田间 E_a 为 60% 左右 ,平均 E_d 为 94% 左右。2009 年冬灌的第 25 号、26 号、15 号、16 号畦 ,由于田间微地形条件稍差且地面坡降较大 ,水流较快通过田面 ,从而使 E_d 有所提高 ,而大量灌溉水积存在畦田尾部 ,导致 E_a 很低 ,造成灌溉水的浪费。因此 ,不宜单独用灌水均匀系数来评价地面灌水质量^[2] ,因为在地面坡降较大导致畦尾产生积水时 ,即使灌水均匀度较高 ,灌水效率也很低。建议推广精细平地技术 ,适当减小田面坡降 ,提高平整度。

4 灌水效果评价与灌水技术改进

评价灌水质量优劣的重要指标是田间 E_a 和 E_d 。采用模型拟合法评价试验区的田间 E_a 和 E_d :用 SRFR 模型模拟不同畦长、地面坡降、单宽流量 q 和闭口成数组合条件下的灌溉 ,对地面水流的推进和消退过程进行拟合 , E_a 和 E_d 是模拟输出。模拟中采用的土壤入渗参数和田面糙率为由模拟结果所确定的试验区平均入渗参数和糙率 : $K=3.56\text{ mm/min}$, $\alpha=0.30$, $n=0.045$ 。同时 ,通过模拟找出既适合当地条件 ,又能使田间的 E_a 和 E_d 达到较高水平的优化组合方案。

根据试验区当地种植习惯 ,畦宽均为 1.5 m ,模拟中采用 30 m、50 m、70 m 和 90 m 共 4 种长度的畦田 ,地面坡降分别为 0、0.1%、0.3% 和 0.5% , q 分别为 $3\text{ L/(s}\cdot\text{m)}$ 、 $4.5\text{ L/(s}\cdot\text{m)}$ 、 $6\text{ L/(s}\cdot\text{m)}$;闭口成数为 0.7、0.8、0.9 和 1.0。按照上述参数 ,共模拟了 159 个处理。根据模拟结果 ,图 5 给出了 E_a 和 E_d 与畦长的关系(E_d 的模拟点与 E_a 的模拟点一样多 ,由于 E_d 数值有很多是重复的 ,图中数据点则会重合 ,所以图中显示的 E_d 模拟点少于 E_a)。

由图 5 可见 ,当畦长从 40 m 增加到 50 m 时 ,平均 E_a 和 E_d 呈上升趋势 ,而当畦长在 50~70 m 之间时 ,平均 E_a 和 E_d 差别不大 ;当畦长从 70 m 增加到 80 m 时 ,平均 E_a 下降较明显 ,平均 E_d 则有所下降。

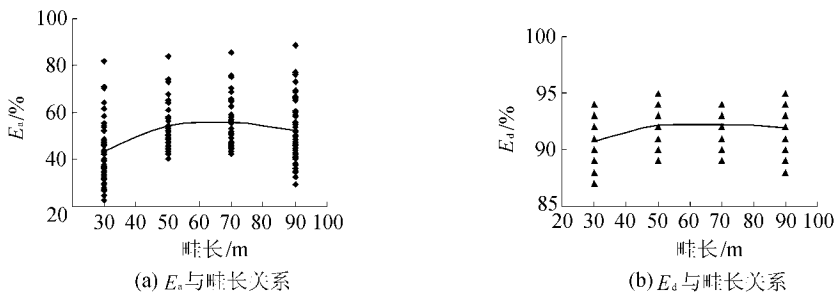


图 5 E_a 和 E_d 与畦长的关系

Fig. 5 Relationships between E_a and E_d and border length

根据前面实测资料 ,图 6 给出了在 $q=5.7\text{ L/(s}\cdot\text{m)}$,地面坡降为 0.4%(与试验区现状相符)时 ,不同畦长时的灌水量。由图 6 可以看出 ,当畦长约在 60~140 m 时 ,灌水量在 $400\sim600\text{ m}^3/\text{hm}^2$ (折合为 40~60 mm) ,符合实际灌水情况 ,而畦长过短或过长都使得灌水量不满足需水要求或是灌溉水的浪费。因此 ,在井水的出水量和畦宽一定时 ,不是畦田越短越有利于提高灌水质量 ,将模拟结果与实际情况结合 ,综合考虑提高灌水质

量和便于灌溉管理两个方面,畦长以 60~70 m 为宜。

由图 7 可以看出,随着 q 的增大,平均 E_a 和 E_d 呈下降趋势,即在其他条件相同的情况下,入畦 q 较小的灌水均匀度较好。因此,减小 q 对提高灌溉性能有一定效果。根据已有灌水经验,畦田的 q 过小会使灌水速度慢,灌水量大;一般当畦田 $q \geq 6 \text{ L/(s}\cdot\text{m)}$ 时就会严重串畦田跑水,造成水量浪费。因此,以保证灌水均匀且不冲刷土壤为原则,入畦 q 控制在 3~6 $\text{L/(s}\cdot\text{m)}$ 为宜。

闭口成数会对灌水质量产生一定影响,由图 8 看出,随着闭口成数的增大,平均 E_a 降低而 E_d 增加,综合考虑 E_a 和 E_d 同步达到较高值,闭口成数以 0.8~0.9 为宜。

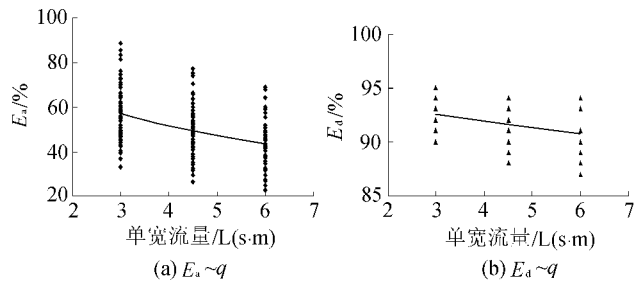


图 7 模拟 E_a 和 E_d 与 q 关系

Fig. 7 Simulated relationships between E_a and E_d and q

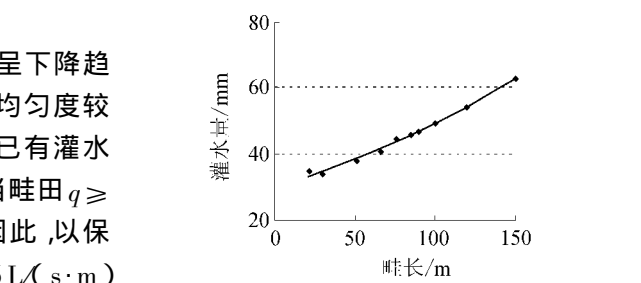


图 6 实测各畦的灌水量与畦长的关系

Fig. 6 Observed relationships between border length and irrigation amount

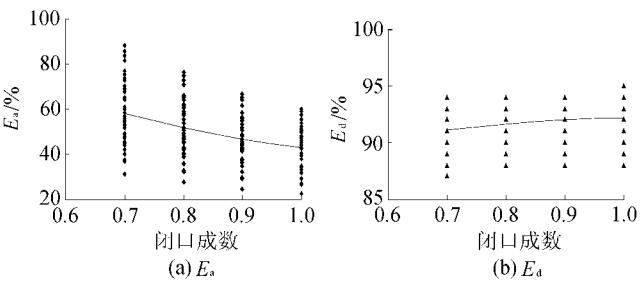


图 8 E_a 和 E_d 与闭口成数关系

Fig. 8 Relationships between inflow cutoff and E_a and E_d

根据上述研究分析结果,列出试验地区地面灌溉灌水技术要素选取参考值,详见表 5。

表 5 地面灌溉灌水技术要素选取参考

Table 5 References for selection of surface irrigation design and management variables					
土质	田面坡降/%	灌水定额/ ($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)	单宽流量/ ($\text{L}\cdot(\text{s}\cdot\text{m})^{-1}$)	畦长/m	闭口成数
壤土	0.3~0.6	400~600	3~6	60~70	0.8~0.9

5 结 论

- a. 不宜单独用灌水均匀系数来评价地面灌水质量,因为在地面坡降较大导致畦尾产生积水时,即使灌水均匀度较高,灌水效率也很低。建议推广精细平地技术,适当减小田面坡降,提高平整度。
- b. 畦田过长会导致灌溉时间过长,入渗深度过大,灌水效率降低,造成灌溉水的浪费。但在井的出水量和畦宽一定时,并不是畦田越短越有利于提高灌水质量,综合考虑提高灌水质量和便于灌溉管理两个方面,畦长以 60~70 m 为宜。
- c. 以灌水均匀且不冲刷土壤为原则,入畦单宽流量控制在 3~6 $\text{L/(s}\cdot\text{m)}$ 为宜。

参考文献:

[1] 莫正涛,刘彦珍,董云德,等.畦田灌溉试验分析[J].中国农村水利水电,2004(3):9-11.(MO Zhengtao, LIU Yanzhen, DONG Yunde, et al. Analysis of Border Irrigation Experiment[J]. China Rural Water and Hydropower, 2004(3):9-11. (in chinese))

[2] 李久生,饶敏杰.地面灌溉水流特性及水分利用率的田间试验研究[J].农业工程学报,2003,19(3):54-58.(LI Jiusheng, RAO Minjie. Field evaluation of water flow performance and application efficiency for border irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(3):54-58. (in chinese))

[3] OR D, WALKER W R. Effects of spatially variable intake on surface irrigation advance[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE:1996, 122(2):122-130.

[4] 王文焰.波涌灌溉试验研究与应用[M].西安:西北工业大学出版社,1994.

[5] STRELKOFF T. A computer program for simulating flow in surface irrigation furrows basins borders[R]. Phoenix:USDA ARS Water Conservation Lab, 1993.

- [6] 费良军. 由灌溉水流推进资料确定土壤参数[J]. 西北水资源与水工程, 2002, 4(4):16-20. (FEI Liangjun. Infiltration parameters from irrigation advance data[J]. Water Resources and Water Engineering, 2002, 4(4):16-20. (in chinese))
- [7] 许迪, 蔡林根. 农业持续发展的农田水土管理研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.
- [8] 刘钰, 蔡甲冰, 白美健, 等. 黄河下游簸箕李灌区田间灌水技术评价与改进[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2005(1):32-39. (LIU Yu, CAI Jiabing, BAI Meijian, L. S. Pereira. Evaluation and improvement on field irrigation techniques for Bojili irrigation district on Lower Reaches of Yellow River[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2005(1):32-39. (in chinese))
- [9] 许迪, 李益农. 精细地面灌溉技术体系及其研究的进展[J]. 水利学报, 2007, 38(5):529-537. (XU Di, LI Yinong. Review on advancements of study on precision surface irrigation system[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(5):529-537. (in chinese))
- [10] 李援农, 林性粹. 土壤积水入渗的气阻变化对入渗参数的影响[J]. 西北农业大学学报, 1997, 25(3):51-54. (LI Yuannong LIN Xingcui. Soil air resistance changes of accumulated water infiltration and their effects on the infiltration parameters[J]. Acta Universitatis Agriculturae Boreali-occidentalis, 1997, 25(3):51-54. (in chinese))
- [11] 马娟娟, 孙西欢, 李占斌. 入渗水头对土壤入渗参数影响[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(5):53-55. (MA Juanjuan, SUN Xihuan, LI Zhanbin. Effect on soil infiltration parameters of infiltration head[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2004, 23(5):53-55. (in chinese))
- [12] 李雪转, 樊贵盛. 土壤有机质含量对土壤入渗能力及参数影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(3):188-190. (LI Xuezhuang, FAN Guisheng. Influence of organic matter content on infiltration capacity and parameter in field soil[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(3):188-190. (in chinese))

《水利水电科技进展》征订启事

(邮发代号 28-244, CN32-1439/TV, ISSN1006-7647, 双月刊, A4 开本)

《水利水电科技进展》由河海大学主办, 是中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊, 全国中文核心期刊, 中国科技核心期刊, RCCSE 核心期刊, 全国水利系统优秀期刊, 华东地区优秀期刊, 江苏省优秀期刊. 主要刊登水科学、水工程、水资源、水环境、水管理方面的科技论文, 主要栏目有水问题论坛、研究探讨、工程技术、水管理、专题综述、国外动态等, 适合水科学、水工程、水资源、水环境领域的科研、工程、管理人员以及大专院校师生阅读.

《水利水电科技进展》由邮局发行, 邮发代号 28-244, 2013 年每期定价 12 元, 全年 6 期共计 72 元. 可在全国各地邮局订阅, 也可直接向编辑部订阅.

编辑部地址: 南京市西康路 1 号 《水利水电科技进展》编辑部

邮政编码 210098

电话/传真 025-83786335

E-mail jz@hhu.edu.cn

http://kjb.hhu.edu.cn/web/indexjz.asp?id=5